FACULTÉ DE MÉDECINE DE STRASBOURG

ANNÉE 1961 No 68

THÈSE

présentée pour le Doctorat en Médecine

par

KISSEL Albert

né le 7 janvier 1935 à Stiring-Wendel (Moselle)

Assistant à l'Institut d'Anatomie
de la Faculté de Médecine de Strasbourg
Ancien Externe des Hôpitaux de Strasbourg

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA MORPHOGÉNÈSE DU CANAL RACHIDIEN

Président :
M. Pierre MEYER, Professeur

1961
IMPRIMERIE ST-THOMAS – STRASBOURG-NEUDORF

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550001_0043

FACULTÉ DE MÉDECINE DE STRASBOURG

ANNÉE 1961 No 68

THÈSE

présentée pour le Doctorat en Médecine

par

KISSEL Albert

né le 7 janvier 1935 à Stiring-Wendel (Moselle)

Assistant à l'Institut d'Anatomie
de la Faculté de Médecine de Strasbourg
Ancien Externe des Hôpitaux de Strasbourg

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA MORPHOGÉNÈSE DU CANAL RACHIDIEN

Président :
M. Pierre MEYER, Professeur

1961
IMPRIMERIE ST-THOMAS — STRASBOURG-NEUDORF

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

FACULTE DE MÉDECINE DE STRASBOURG

	MM.
Doyen	FONTAINE
Doyen honoraire	CALLOT
Assesseur	CALLOT

PROFESSEURS TITULAIRES

Anatomie	MEYER
Anatomie Pathologique	FRUHLING
Biologie Médicale	KLEIN
Chimie Biologique	MANDEL
Embryologie	CLAVERT
Histologie	ARON M.
Hydrologie et Climatologie	WAITZ
Hygiène et Bactériologie	TULASNE
Médecine Légale et Médecine Sociale	N . . . .
Parasitologie et Médecine Tropicale	CALLOT
Pharmacologie et Médecine Expérimentale	SCHMID
Physiologie	KAYSER
Physiologie Appliquée	METZ B.
Physique Biologique	CHEVALLIER
Clinique Chirurgicale A	FONTAINE
Clinique Chirurgicale B	WEISS
Clinique Médicale A	WARTER
Clinique Médicale B	STAHL
Clinique Dermatologique	WORINGER
Clinique Infantile	SACREZ
Clinique Neurologique	THIEBAUT
Clinique Gynécologique et d'Accouchement	BURGER
Clinique Ophtalmologique	NORDMANN
Clinique Oto-Rhino-Laryngologique	GREINER
Chaire de Clinique et de Prophylaxie de la Tuberculose	OUDET
Clinique Psychiatrique	KAMMERER
Pathologie Chirurgicale	JUNG
Chaire de Thérapeutique	METZGER
Chaire d'Electro-Radiologie	GROS
Pathologie Générale et Expérimentale	STEPHAN
Stomatologie	VEDRINE
Histologie	ARON Cl.

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Physiologie	MARX
Anatomie	WINCKLER
Neurologie	ROHMER Fr.
Anatomie Pathologique	LE GAL
Hygiène et Bactériologie	MINCK

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

MM	MM	MM
BATZENSCHLAGER	KORITKE	VERMEIL
KARLI	MARESCAUX	WEILL J. D.
	MAYER G.	

AGREGES

MM	MM	MM
BEYER	GANDAR	MARCOUX
BRONNER	HOLLENDER	MULLER J. N.
BURGHARD	ISRAEL	MULLER P.
CHAMBRON	JAHN	PRUNIERAS
CHAUMONT	LEFEBVRE	SCHWARTZ
DORNER	KIM	WITZ
	MANTZ	

AGREGES LIBRES

MM	MM
BUCK	KUNTZMANN
FORSTER	VOEGTLIN
KUHLMANN D.	

CHARGES D'UN COURS D'ENSEIGNEMENT COMPLEMENTAIRE

MM	MM	MM
MEHL J.	FRANK	MOISE
METZGER O.	Mlle GEX	LAVILLAUREIX
MUGLER A.	MARCOUX	BLUM E.
SINGER	MATHIS	BILGER Fr.
STULZ	Mme MAYER S.	KLOTZ G.

PROFESSEURS HONORAIRES

M. BOUIN (Membre de l'Institut)

MM	MM	MM
AMBARD	HANNS	ROEDERER
BARRE	KELLER	SOURDILLE
BELLOCQ	REDSLOB	VAUCHER
BENOIT	ROHMER	VINTEMBERGER

La Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ni les approuver, ni les improuver.

SERMENT D'HIPPOCRATE

EN PRÉSENCE DES MAITRES DE CETTE ÉCOLE,
DE MES CHERS CONDISCIPLES, JE PROMETS ET JE
JURE AU NOM DE L'ÊTRE SUPRÊME D'ÊTRE FIDÈLE
AUX LOIS DE L'HONNEUR ET DE LA PROBITÉ
DANS L'EXERCICE DE LA MÉDECINE.
JE DONNERAI MES SOINS GRATUITS A L'INDIGENT
ET N'EXIGERAI JAMAIS UN SALAIRE AU-DESSUS
DE MON TRAVAIL.

ADMIS DANS L'INTÉRIEUR DES MAISONS, MES YEUX
NE VERRONT PAS CE QUI S'Y PASSE.

MA LANGUE TAIRA LES SECRETS QUI ME SERONT
CONFIÉS ET MON ÉTAT NE SERVIRA PAS
A CORROMPRE LES MOEURS, NI A FAVORISER
LES CRIMES.

RESPECTUEUX ET RECONNAISSANT ENVERS MES
MAITRES, JE RENDRAI A LEURS ENFANTS
L'INSTRUCTION QUE J'AI REÇUE DE LEURS PÈRES.

QUE LES HOMMES M'ACCORDENT LEUR ESTIME
SI JE SUIS RESTÉ FIDÈLE A MES PROMESSES.
QUE JE SOIS COUVERT D'OPPROBRE ET MÉPRISÉ
DE MES CONFRÈRES, SI J'Y MANQUE.

A la mémoire de mon grand-père,

le Docteur Pierre NIKÈS.

A mes parents,

le Docteur Louis KISSEL

qui m'a précédé à l'Institut d'Anatomie;

le Docteur Léonie KISSEL-NIKÈS

Leur exemple a soutenu mon travail,
faible témoignage de mon attachement
filial.

Au Docteur Jean NIKÈS.

Au Docteur Gérard HIEBEL,

Chirurgien-Assistant des Hôpitaux
de Strasbourg,

avec toute l'amitié qui me lie à lui.

MEIS ET AMICIS.

A NOTRE MAITRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR PHILIPPE BELLOCQ

Officier de la Légion d'Honneur

Membre correspondant national de l'Académie de Médecine

Professeur honoraire à la Faculté de Médecine de Strasbourg

Vous nous avez initié par vos leçons magistrales à l'Anatomie et toujours accueilli avec bienveillance à l'Institut d'Anatomie.

A NOTRE MAITRE
ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR PIERRE MEYER

Professeur d'Anatomie

Directeur de l'Institut d'Anatomie Normale

En témoignage de toute notre gratitude pour nous avoir reçu à l'Institut d'Anatomie .

A MONSIEUR

LE PROFESSEUR JEAN-GEORGES KORITKÉ

Maitre de Conférences-Agrégé

Avec toute notre reconnaissance.

A NOTRE JURY DE THÈSE :

MESSIEURS LES PROFESSEURS :

CH. M. GROS, Professeur de Radiologie

J. CLAVERT, Professeur d'Embryologie.

A NOS MAITRES DE L'EXTERNAT
DES HOPITAUX DE STRASBOURG :

Année 1956-1957 :

MESSIEURS LES PROFESSEURS :

R. FONTAINE, Doyen de la Faculté de Médecine,
Professeur de Clinique Chirurgicale

J. WARTER, Professeur de Clinique Médicale.

Année 1957-1958 :

MESSIEURS LES PROFESSEURS :

FR. THIÉBAUT, Professeur de Clinique Neurologique

A. G. WEISS, Professeur de Clinique Chirurgicale

Année 1958-1959 :

MESSIEURS LES PROFESSEURS :

P. MULLER, Professeur Agrégé, Médecin des Hôpitaux

G. GREINER, Professeur de Clinique Oto-Rhino-Laryngologique

Année 1959-1960 :

MESSIEURS LES PROFESSEURS :

J. NORDMANN, Professeur de Clinique Ophtalmologique

G. GREINER, Professeur de Clinique Oto-Rhino-Laryngologique.

NOUS REMERCIONS TOUT PARTICULIÈREMENT

MONSIEUR LE PROFESSEUR L. FRUHLING
Professeur d'Anatomie Pathologique

qui a bien voulu nous fournir les souris nécessaires pour ce travail
et

MONSIEUR LE PROFESSEUR J. CLAVERT
Professeur d'Embryologie

qui a eu l'obligeance de mettre à notre disposition les coupes d'un embryon humain.

NOUS TENONS A REMERCIER ÉGALEMENT

MADEMOISELLE D. FRICK

qui a participé avec dévouement à la partie technique de cette thèse,

MADEMOISELLE G. HELDT

qui fut une secrétaire dévouée au cours de la rédaction de ce travail
et

MONSIEUR J. GINTZBURGER

Photographe de l'Institut d'Anatomie Pathologique qui a assuré avec talent l'illustration photographique.

PLAN

I. - INTRODUCTION: POSITION GÉNÉRALE DU PROBLEME

page

A. — La forme du canal vertébral et de la moelle; leur topographie réciproque 21

B. — Théories explicatives de la forme du canal vertébral 27

C. — Le problème posé 30

II. - RECHERCHES PERSONNELLES ET MÉTHODES

A. — Matériel utilisé 33

B. — Méthodes 36

a. - dessins 36

b. - mesures 36

c. - indices 38

III. - RÉSULTATS

A. — Série d'embryons de poulet 41

a. - dessins 41

b. - mesures 49

c. - indices 57

Série d'embryons de souris 63

a. - dessins 63

b. - 69

c. - indices 71

C. — Embryon Humain 80

a. - dessins 80

b. - mesures 80

c. -indices 82

IV. - DISCUSSION

A. — Critique des méthodes 84

a. - choix du matériel 84

b. - méthodes utilisées 85

B. — Résultats 86

a. - la moelle et la morphogénèse du canal rachidien 86

b. - critique des théories explicatives de la forme du canal rachidien 87

V. - CONCLUSIONS 89

BIBLIOGRAPHIE 91

I. - INTRODUCTION
POSITION GENERALE DU PROBLEME

Ce travail vise à préciser l'éventuelle existence d'une relation entre la forme du canal vertébral et la forme de la moelle. L'étude succincte des formes de ces deux éléments, canal vertébral et moelle, envisagée chez l'Homme adulte, type de la classique description d'Anatomie Humaine, nous permettra de mieux préciser le but de notre travail.

Le canal vertébral contient la moelle et sur une coupe horizontale du canal rachidien de l'Homme adulte, faite à la hauteur de la neuvième vertèbre thoracique (Fig. 1) les deux éléments, canal et moelle, ont des pourtours sensiblement cylindriques cependant qu'entre eux nous trouvons les espaces délimités par les méninges. Ces espaces sont:

1. — l'espace épidural, entre la paroi vertébrale et la dure-mère (Fig. 1, n° 6);

2. — l'espace sous-dural, espace virtuel et de glissement entre la dure-mère et l'arachnoïde (Fig. 1, n° 7);

3. — l'espace leptoméningé ou du liquide céphalorachidien entre l'arachnoïde et la moelle, elle-même recouverte par la pie-mère (Fig. 1, n° 8).

A. - La forme du canal vertébral et de la moelle ; leur topographie réciproque

Mais si, sur une coupe horizontale de la région thoracique de l'Homme adulte, une concordance apparaît entre les formes du canal rachidien et de la moelle, il convient à présent d'envisager successivement les variations régionales, d'abord de la forme du canal rachidien, puis de la forme de la moelle et de préciser enfin la topographie vertébro-médullaire en quelque manière perturbée par le classique phénomène dit de l'ascension de la moelle.

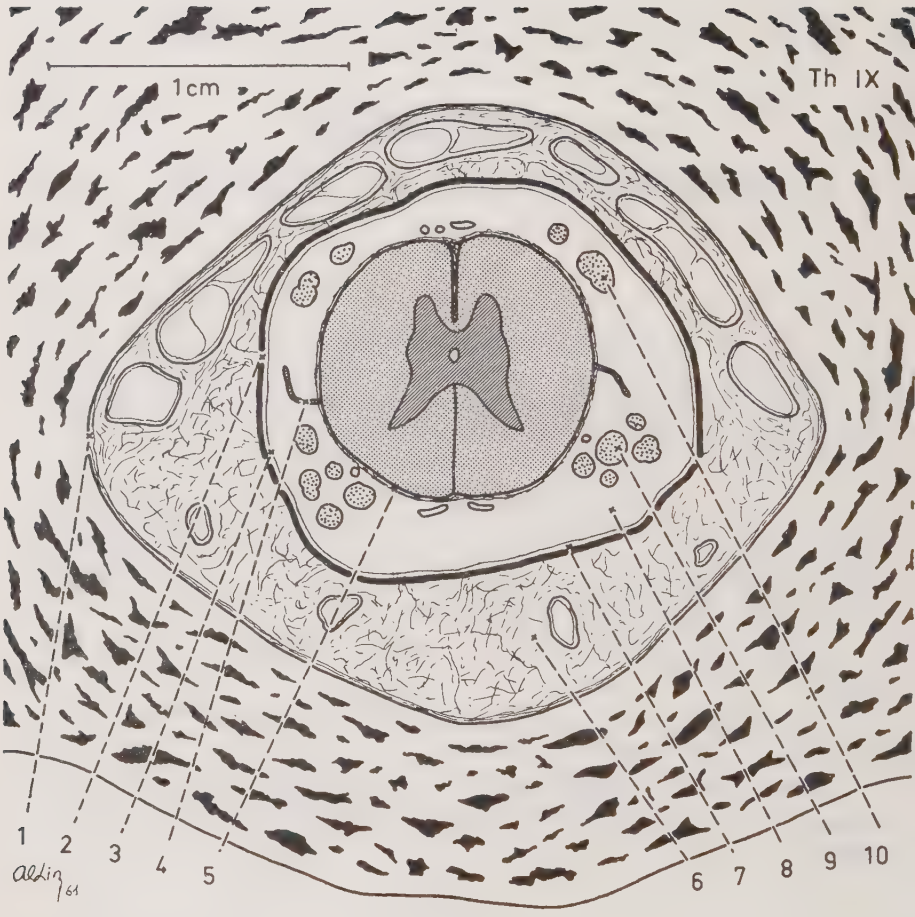


Fig. 1. — Coupe horizontale du canal rachidien de l'Homme adulte faite à la hauteur de la neuvième vertèbre thoracique: disposition générale de la moelle dans le canal vertébral.

1. Contour osseux du canal vertébral et périoste. — 2. Dure-mère. — 3. Arachnoïde. — 4. Ligament dentelé. — 5. Pie-mère appliquée sur la moelle. — 6. Espace épi-dural. — 7. Espace sous-dural. — 8. Espace leptoméningé ou du liquide céphalo-rachidien. — 9. Racines postérieures des nerfs rachidiens. — 10. Racines antérieures des nerfs rachidiens.

La forme du canal rachidien est décrite par notre Maître, le Professeur honoraire Ph. BELLOCQ (1944):

«A l'intérieur du squelette est le canal rachidien, triangulaire dans la région lombaire où il mesure environ 2,5 cm en largeur et 2 cm d'avant en arrière; triangulaire encore dans la région sacrée où il se réduit progressivement et où il porte le nom de canal sacré. Sa forme, en ces deux segments, s'oppose à celle de sa portion dorsale, sensiblement cylindrique et de moindres dimensions, approximativement de 2 cm de diamètre, où les mouvements de la colonne sont de plus petite amplitude; et répète celle de la portion cervicale, triangulaire aussi, mais où le diamètre transversal, 2,5 cm ou davantage, l'emporte beaucoup plus sur le diamètre antéro-postérieur: 1,5 cm environ».

Cette description se superpose à celles de la plupart des Auteurs consultés, cependant que nous pouvons relever des divergences au sujet de la forme du segment lombaire du canal vertébral: à peu près circulaire pour J. HYRTL (1882) et C. HEITZMANN (1888), triangulaire ou losangique pour A. RAUBER (1892), ovalaire à grand axe transversal pour P. EISLER (1893).

Enfin, il est possible d'exprimer sur un graphique les mesures des diamètres, transverse et sagittal, du canal rachidien, comme l'a fait C. AEBY (1871); ce graphique (Fig. 2) montre d'abord une variation plus grande du diamètre transversal que du diamètre sagittal, ensuite la prédominance accusée du premier de ces diamètres au niveau de la première vertèbre cervicale dont le canal est particulier et au niveau des régions de passage cervico-thoracique et lombo-sacrée.

C'est dans ce canal vertébral de forme différente suivant la région vertébrale considérée que se place la moelle.

Cette moelle est décrite par l'ensemble des Auteurs d'Anatomie Humaine comme un cordon plus ou moins cylindrique, légèrement aplati en direction sagittale (ou dorso-ventrale) et muni de deux renflements fusiformes ou intumescences, situés à la hauteur de l'origine médullaire des nerfs destinés à former les deux plexus, cervico-thoracique et lombo-sacré. Ainsi le diamètre transversal de la moelle l'emporte sur son diamètre sagittal et ceci de façon encore plus accentuée au niveau des intumescences. Pour faciliter l'appréciation de ces diamètres médullaires, nous avons porté sur un tableau les mesures faites par plusieurs Auteurs: ce tableau montre l'importance du diamètre transversal à la hauteur des intumescences (tableau 1).

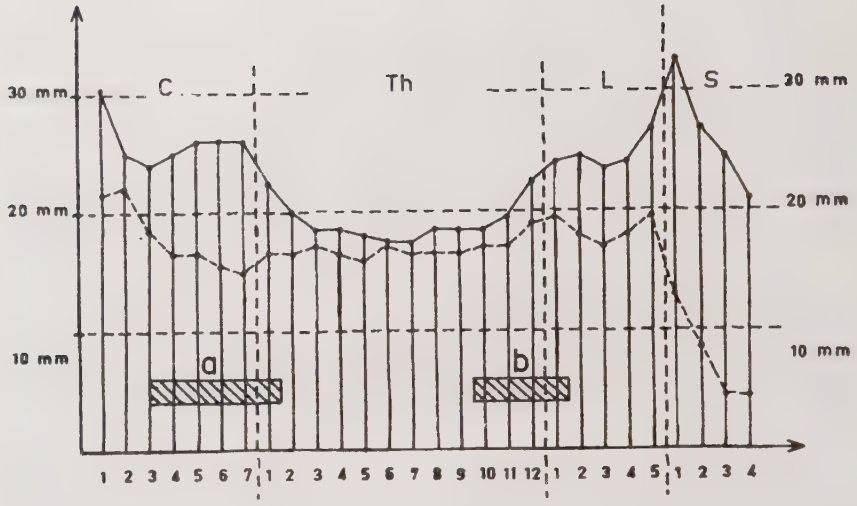


Fig. 2. — Diagramme des diamètres du canal rachidien de l'Homme adulte aux divers segments de la colonne vertébrale (d'après C. AEBY, modifié par l'inscription de la topographie des intumescences médullaires d'après les limites moyennes relevées par les Auteurs).

En trait plein, le diamètre transversal du canal rachidien montre (si on fait abstraction du cas particulier de l'atlas) deux sommets, l'un au niveau de la septième vertèbre cervicale, l'autre au niveau de la première vertèbre sacrée. L'inscription des limites des intumescences cervicale (a) et lombaire (b) montre la discordance topographique entre l'intumescence lombaire et la dilatation lombo-sacrée du canal rachidien.

En pointillé, le diamètre sagittal du canal vertébral présente des variations beaucoup moins accusées que celles du diamètre transversal.

Auteurs	Intumescence cervicale		Moelle thoracique		Intumescence lombaire	
	Ø T	Ø S	Ø T	Ø S	Ø T	Ø S
A. Charpy .	13 mm	9 mm	10 mm	8 mm	12 mm	9 mm
A. Rauber .	13 mm	9 mm	10 mm	8 mm	12 mm	9 mm
F. Sieglbauer	15 mm	7 mm	8 mm	7 mm	9 mm	8 mm
L. Testut . .	13 mm	9 mm	10 mm	8 mm	12 mm	9 mm
Th. Ziehen .	13-14	9 mm	10 mm	8 mm	11-13	8,5 mm

Tableau 1. — Diamètres transversaux et sagittaux de la moelle de l'Homme adulte d'après divers Auteurs, aux trois niveaux: de l'intumescence cervicale, de la moelle thoracique et de l'intumescence lombaire.

Si maintenant, après avoir décrit brièvement la forme du canal vertébral et de la moelle, nous envisageons la mise en place topographique de la moelle dans le canal vertébral de l'Homme adulte, nous remarquons que d'après les traités d'Anatomie :

1. — L'intumescence cervicale, par sa limite supérieure, se situe en regard du corps de la deuxième vertèbre cervicale, par son plus grand diamètre se projette sur la cinquième vertèbre cervicale ou la sixième et par sa limite inférieure se place entre la première vertèbre thoracique et la deuxième ;

2. — L'intumescence lombaire, par sa limite supérieure, correspond à la neuvième vertèbre thoracique ou à la dixième et atteint son plus grand diamètre entre la onzième vertèbre thoracique et la douzième; elle n'a cependant pas de limite inférieure nette, en raison de l'effilement progressif de la moelle en un cône terminal situé à la face postérieure du premier corps vertébral lombaire ou du deuxième.

Mais la mise en place de la moelle dans le canal vertébral que nous venons de décrire, apparaît comme une topographie moyenne dont les variations ont été relevées par plusieurs Auteurs dont nous avons reporté les indications sur un tableau (tableau II).

Tableau II. — Topographie vertébrale des intumescences cervico-thoracique et lombaire de l'Homme adulte d'après divers Auteurs.

Auteurs	Intumescence cervicale limites Sup.	Inf.	Ø Max.	Intumescence lombaire limites Sup.	Inf.	Ø Max.
C. Aeby	C3	Th2	C5-C6	Th 10	L1-L2	—
K. von Bardeleben . .	—	—	C5-C6	—	—	Th11
A. Charpy	C3	Th2	C6	Th9-Th10	L2	Th11
J. Cruveilhier	C3	Th2	C5-C6	Th10	—	—
P. Eisler	C2	Th2	—	Th10	—	—
J. Hyrtl	C5	Th2	—	Th11	L1	—
F. Merkel	—	Th2	C5	Th10	—	—
A. Rauber	C2	Th2	C5-C6	Th10	—	Th12
H. Rouvière	C4	Th1	—	Th10	L1	—
Ph. Sappey	C3	Th2	C6	Th9	—	Th11
L. Testut et A. Latarjet	C3	Th2	C6	Th9-Th10	L1-L2	Th12

Ces différences de topographie vertébrale et médullaire, particulièrement marquées à l'extrémité inférieure du canal rachidien dont la région lombo-sacrée est véritablement déshabitée, sont expliquées par le phénomène dit de l'ascension de la moelle, dont le décours fut récemment étudié par H. LIPPERT et P. DZIALLAS (1961) à l'aide de méthodes statistiques: ce travail dont les résultats se traduisent sur un graphique (Fig. 3), fait ressortir que l'ascension médullaire est rapide pendant les cinq premiers mois lunaires de la vie embryonnaire: au début du sixième mois, l'extrémité de la moelle se situe en moyenne en regard de la troisième vertèbre lombaire ou de la quatrième; par la suite, l'ascension se fait plus lente et, à la naissance, le cône terminal se projette sur le deuxième corps vertébral lombaire.

Cette ascension serait due :

— soit à la croissance plus rapide de la colonne vertébrale (O. HERTWIG, 1910; C. V. A. KAPPERS, 1947; St. A SIWE, 1931; F. TOURNEUX, 1921);

— soit à l'inégalité de croissance des deux éléments, moelle et colonne (T. MARCINIAK, 1930; W. PFITZNER, 1904);

— soit, ajoutée aux facteurs précédents, à une atrophie du segment terminal de la moelle comme le supposent H. BOENIG (1938), R. BONNET (1929), I. BROMAN (1927), H. K. CORNING (1925) et A. PRENANT (1921).

Après avoir ainsi envisagé d'abord la forme du canal rachidien et de la moelle, puis la topographie réciproque de ces deux éléments, on peut se demander :

1. — si la moelle, contenu du canal rachidien, est responsable de la forme de ce canal;

2. — à quel moment la moelle détermine la forme d'un canal qu'elle n'habitera pas dans toute sa hauteur dès la période foetale.

Mais il convient, avant d'envisager nos recherches personnelles sur le déterminisme de la forme du canal vertébral, de rapporter brièvement les diverses théories proposées pour expliquer la forme de ce canal.

B. - Théories explicatives de la forme du canal vertébral

Ces théories explicatives de la forme du canal vertébral font intervenir: ou bien l'adaptation du canal à la moelle, ou bien la mobilité de la colonne vertébrale ou encore le rôle de la pesanteur alors que cette morphogénèse est envisagée chez l'Homme érigé.

La première de ces théories, celle de l'adaptation du canal à la forme de la moelle, fut déjà suggérée par A. VESALE (1555) écrivant: «foramen dorsalis medullae causa exculptum, non ossium magnitudini, sed

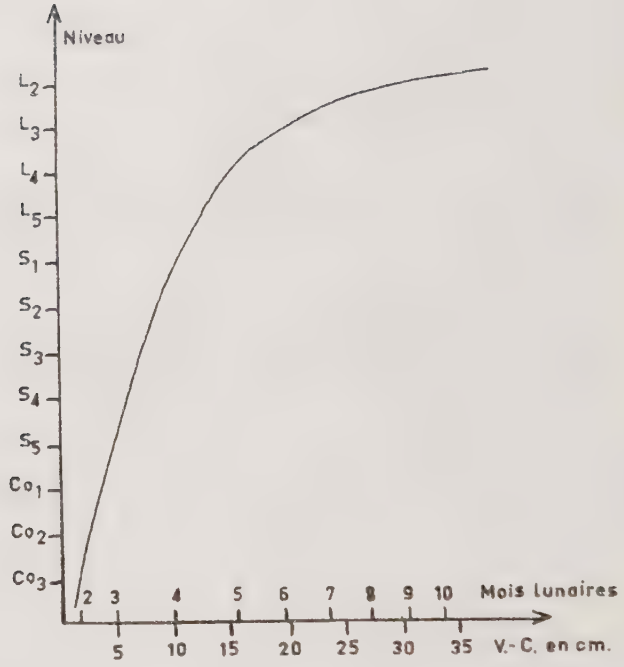


Fig. 3. — Ascension médullaire: topographie du cône terminal de la moelle Humaine durant la vie embryonnaire. (D'après H. LIPPERT et P. DZIALLAS).

La courbe montre la rapide ascension médullaire du deuxième mois lunaire au sixième et le ralentissement ultérieur de cette ascension.

dorsalis medullae proportioni respondet». (l'orifice sculpté par la moelle ne correspond pas à la taille des os, mais aux proportions de la moelle). Elle est reprise par J. HYRTL (1882) lequel admet dans son traité d'Anatomie que la largeur du canal rachidien est conditionnée par le volume de la moelle, notamment au niveau des intumescences. Enfin, cette théorie fut adoptée par A. RAUBER (1892), puis par C. GEGENBAUR (1910) qui note l'étroite correspondance entre la forme du canal vertébral et de la moelle de l'embryon Humain et l'atténuation progressive de cette correspondance vers la fin du développement prénatal.

La seconde théorie envisagée est celle de l'influence morphogène de la mobilité de la colonne vertébrale, squelette axial du tronc mobile. Ainsi, H. EARLE (1822) remarque la forme triangulaire du canal vertébral au niveau des segments mobiles de la colonne cervicale et lombaire et conclut à l'existence d'une étroite correspondance entre la mobilité de la colonne, les diamètres du canal et la forme de celui-ci. C'est également l'opinion de J. M. BOURGERY (1832): «La largeur variable du canal rachidien), augmente dans les diverses sections du rachis, plutôt en raison de leur mobilité que de l'accroissement de volume de la moelle qui s'y trouve contenue».

Cette théorie est reprise par J. CRUVEILHIER (1845): «On a dit que ce canal se renflait comme la moelle épinière; mais où est le renflement du canal correspondant au renflement moyen de la moelle? (pour Cruveilhier l'intumescence cervico-thoracique constitue un renflement moyen placé sous le renflement supérieur correspondant au bulbe). Où est même le renflement correspondant au bulbe de terminaison? (qui est l'intumescence lombaire de l'Anatomie moderne). La véritable loi qui préside aux dimensions du canal, c'est la mobilité. Plus une région de la colonne vertébrale est mobile, plus les dimensions du canal y sont considérables, disposition qui prévient la compression de la moelle correspondante». Ce rôle de protection joué par le canal rachidien à l'égard de la moelle avait déjà été envisagé par J. B. PETREQUIN (1844). CRUVEILHIER ajoute: «si le diamètre transversal l'emporte à la région cervicale sur le diamètre antéro-postérieur, c'est à cause de l'étendue des mouvements latéraux».

Enfin, cette théorie est citée, ou encore admise par Ph. BELLOCQ (1944), A. CHARPY (1921), H. GRAY (1943), J. HENLE (1871), P. POIRIER (1911), A. RICHET (1877), H. ROUVIERE (1924), L. TESTUT et A. LATARJET (1948), et P. TILLAUX (1882).

Cette théorie, apparemment justifiée, est cependant sujette à certaines critiques: quelle est en effet la mobilité de la colonne au niveau des premières vertèbres sacrées où le diamètre transversal atteint une valeur qu'on ne retrouve à aucun autre niveau comme le montre le tableau de C. AEBY (Fig. 2)? Par ailleurs, la non-correspondance des intumescences médullaires et des dilatations du canal vertébral devrait pouvoir s'expliquer par l'ascension de la moelle.

C'est en raison de ces arguments opposés à l'influence morphogène de la seule mobilité de la colonne que deux Auteurs, J. von GER-

LACH (1891) et F. MERKEL (1899) ont associé à la théorie défendue par Cruveilhier, le déterminisme de la forme du canal par les intumescences médullaires.

Enfin, une dernière théorie, émise par A. SPERANSKY (1925) fait intervenir dans la morphogénèse du canal vertébral les lordoses de la colonne. Celles-ci, cervicale et lombaire, correspondent en effet aux régions vertébrales dans lesquelles le canal rachidien est triangulaire à sommet postérieur. Au niveau d'une lordose, le corps vertébral, soutien du tronc, est soumis à l'action de la pesanteur qui, chez l'Homme considéré debout, tendrait à pousser ce corps vertébral vers l'avant et vers le bas (Fig. 4, A). A cette poussée s'opposent les apophyses articulaires et les apophyses épineuses, les premières considérées comme point fixe, les dernières soumises à l'action des muscles érecteurs du tronc qui s'y insèrent. Ainsi le canal serait comme étiré dans le sens antéro-postérieur, prenant pour points d'appui les apophyses articulaires et deviendrait alors triangulaire (Fig. 4, B). Cet Auteur explique par un effet comparable de la pesanteur la forme triangulaire du canal sacré, bien que cette partie du rachis ne présente pas de lordose, mais, au contraire, une cyphose.

Enfin, au niveau de la cyphose dorsale, étayée par le thorax osseux, les arcs neuraux jouiraient d'un «repos relatif» et le canal vertébral garderait une forme circulaire.

Cet Auteur conclut : «Les causes de la formation de toutes ces différences de forme peuvent être facilement déduites si on tient compte des influences mécaniques sous l'action desquelles se développe, se modifie et fonctionne le squelette humain».

C. - Le problème posé

De l'ensemble de ces théories, adaptation du contenant au contenu, adaptation du canal vertébral à la mobilité du squelette axial vertébral, ou morphogénèse du canal rachidien par l'action mécanique de la pesanteur sur la colonne vertébrale, la première nous apparaît la plus logique, sans qu'il faille pour autant éliminer totalement les autres.

En effet, la forme des éléments osseux est précocément déterminée au cours de la vie embryonnaire, bien que soumise encore durant toute la vie à un permanent modelage de détail.

De plus, d'une manière générale, l'os s'adapte à l'organe mou voisin, ce dont les exemples abondent en Anatomie; parmi eux, citons: les empreintes vasculaires et nerveuses des os, les fosses des glandes salivaires para-mandibulaires (sub-linguale et sous-mandibulaire), les empreintes digitales du crâne neural où en particulier une couche de liquide céphalo-rachidien sépare les circonvolutions corticales de l'os.

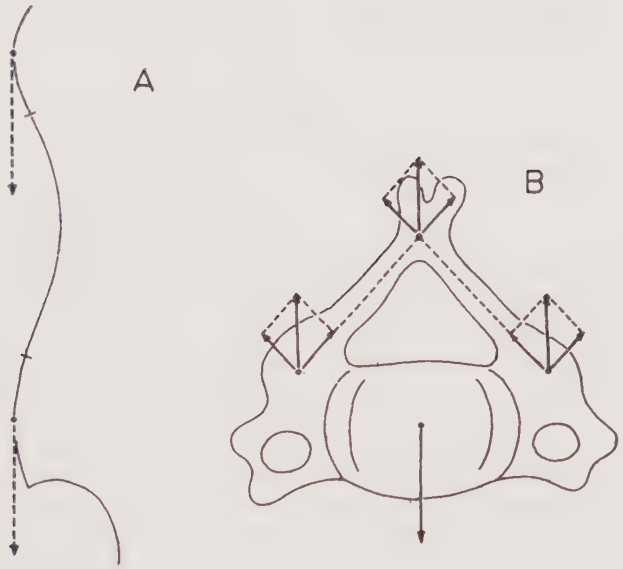


Fig. 4. — Forces qui s'appliqueraient au niveau d'une vertèbre Humaine à canal de force triangulaire. (D'après A. SPERANSKY).

A) Action de la pesanteur au niveau des lordoses cervicale et lombaire.

B) Vecteurs et points d'application des forces qui agiraient sur le corps vertébral, sur les apophyses articulaires et sur l'apophyse épineuse.

La précocité de la forme de l'os, fixée dès l'ébauche cartilagineuse, et les exemples de modelage de l'os par les organes mous voisins, nous autorisent à prendre comme hypothèse de travail le rôle morphogène de la moelle sur la forme du canal vertébral, d'une part malgré la présence de larges espaces péri-médullaires qui semblent trop écarter la moelle des parois du canal rachidien pour que la forme de la première influence celle du second et d'autre part, malgré la discordance topographique des vertèbres et de la moelle, souvent mise en avant par les théories ne reconnaissant pas l'action de la moelle sur la forme du canal vertébral.

Ainsi avons-nous entrepris de suivre les formes du canal vertébral et de la moelle chez des embryons de poulet et de souris et sur un embryon Humain pour essayer d'en saisir les corrélations.

II. - RECHERCHES PERSONNELLES ET METHODES

A. - Matériel utilisé

Dans le but d'étudier le rôle morphogène de la moelle sur la forme du canal rachidien, nous avons suivi l'évolution de la forme de ces deux éléments au cours de la vie embryonnaire essentiellement chez deux espèces, le poulet et la souris. Ces deux espèces se différencient par deux points intéressant le problème de la morphogénèse du canal rachidien: d'une part l'ascension de la moelle existe chez la souris et fait défaut chez le poulet, d'autre part le poulet possède un sinus rhomboïdal, volumineuse saillie de la moelle lombaire, laquelle est absente chez un mammifère comme la souris.

On trouve chez la souris une ascension médullaire tout à fait comparable à l'ascension de la moelle de l'embryon Humain. Cette ascension commence chez la souris alors que l'embryon atteint une longueur totale de 11 à 12 mm, d'après K. von KUPFER (1906). Chez le néo-né, le cône terminal se trouve sensiblement à la hauteur de la charnière lombo-sacrée d'après nos observations. Mais chez le poulet, la moelle occupe toute la hauteur du canal vertébral: il n'existe ni filum terminale, ni queue de cheval, d'après le traité de A. L. ROMANOFF (1960). Cette absence du phénomène de l'ascension de la moelle chez le poulet facilitera l'observation des relations de la forme de la moelle et du canal rachidien, la topographie vertébro-médullaire n'étant pas perturbée par l'ascension de la moelle.

Par ailleurs, le poulet possède au niveau de la moelle lombaire un sinus rhomboïdal, formation syncytiale disposée en saillie notable sur la face dorsale de la moelle, caractéristique des oiseaux et inexistante chez les autres vertébrés. Ce sinus rhomboïdal, d'abord intra-médullaire, fera relief sur le contour dorsal de la moelle chez l'embryon de treize jours et modifiera dès lors le contour médullaire de façon très nette; son important volume peut intervenir dans la morphogénèse du canal vertébral qui prendra une forme particulière et caractéristique à ce niveau.

Nous avons constitué des séries d'embryons de poulet et de souris, espèces choisies pour les particularités signalées, et ces séries d'embryons s'étendent du moment où le canal vertébral encore cartilagineux se ferme dorsalement jusqu'à la naissance (tableau III).

POULETS			SOURIS		
Age (en jours)	Epaisseur des coupes	Coupes prélevées	Taille en mm	Epaisseur des coupes	Coupes prélevées
6	20 µ	toutes	13,1	20 µ	toutes
7	12 »	1 sur 5	14,6	» »	»
8	12 »	»	15,9	» »	»
9	14 »	»	16,4	» »	»
10	14 »	»	17,4	» »	»
11	14 »	»	17,8	» »	»
12	14 »	»	18,5	» »	»
13	14 »	»	19,7	» »	»
14	14 »	»	23,0	» »	»
15	14 »	»	24,8	» »	»
16	14 »	»			
17	14 »	»			
18	14 »	»	EMBRYON HUMAIN V.C.: 45 mm		
19	20 »	1 sur 3	L.T.: 59 mm		
20	20 »	»	Coupes de 10 µ toutes prélevées.		

Tableau III. — Matériel utilisé: âge ou longueur des embryons, épaisseur des coupes et fréquence de prélèvement des coupes.

Les embryons de poulet, au nombre de quinze, sont séparés l'un de l'autre par un intervalle de vingt-quatre heures, le plus petit est âgé de six jours et le plus grand est un nouveau-né éclos vers la fin du vingtième jour (tableau III). Les embryons de souris, qui sont au nombre de dix, ont été définis par leur taille: chacun a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse et nous avons retenu la longueur totale de l'embryon en position enroulée; les intervalles de la série des embryons de souris, de longueur variable avec le hasard des prélèvements, oscillent autour d'un millimètre. Le plus petit des dix embryons de souris mesure 13,1 mm, le plus grand est un nouveau-né accouché de 24,8 mm (tableau III).

Nous avons encore complété ce matériel d'étude par l'examen des coupées sériées d'un embryon Humain du troisième mois, d'une longueur vertex-coccyx de 45 mm et d'une longueur totale de 59 mm (tableau III). Cet embryon, coupé transversalement en coupes épaisses de 10 μ colorées à l'hématoxyline, a été mis à notre disposition par le Professeur J. CLAVERT, Directeur de l'Institut d'Embryologie et de Morphologie expérimentale de la Faculté de Médecine de Strasbourg.

Les embryons de poulet et de souris sont fixés à l'alcool à 95 ° ou au picro-formol de Bouin, puis préparés en vue de coupes transversales (ou perpendiculaires au grand axe de la colonne). L'orientation des foetus, lors de l'inclusion, a fait l'objet d'une attention particulière pour réduire l'obliquité des coupes, source de déformations des contours des éléments à décrire; pour la même raison, les grands embryons de poulet, âgés de plus de douze jours ont été déroulés et maintenus en position rectiligne sur lames de verre durant la fixation et la préparation à l'inclusion.

Après inclusion dans la paraffine, additionnée de 10% de blanc de baleine et de 5% de cire d'abeille, tous ces embryons ont été coupés au microtome et les coupes colorées selon la méthode trichrome avec les colorants R.A.L. Nous avons ainsi réalisé 13.198 coupes de la colonne vertébrale destinées aux mesures dont nous avons tenu compte dans notre travail (tableau III).

Pour faciliter la comparaison de la forme de la moelle et de la forme du canal vertébral, nous avons retenu parmi nos coupes trois niveaux en raison de leurs particularités: ces niveaux peuvent en effet être retrouvés dans toute la série grâce à des mesures et ont été recherchés à l'aide d'un appareil de microdiaprojection, ce qui facilite les mesures sur l'image agrandie des coupes.

1. — Au niveau de la colonne cervicale, nous avons recherché les coupes intéressant le plus grand diamètre transversal de la moelle lequel correspond au renflement cervical.

2. — A la hauteur de la colonne dorsale, nous avons gardé les coupes possédant le plus petit diamètre transversal de la moelle.

3. — A l'étage de la colonne lombaire, nous avons à nouveau choisi les coupes avec le plus grand diamètre transversal de la moelle correspondant à l'intumescence lombaire (augmentée du sinus rhomboïdal chez le poulet).

Les coupes ainsi retenues ont été triées ensuite en vue de contrôler leur horizontalité afin d'éliminer le risque des déformations dues à l'obliquité possible des coupes, déjà réduite par les précautions prises lors de la fixation et de l'inclusion, ainsi que nous l'avons précisé (voir ci-dessus). Pour nous assurer de cette horizontalité des coupes, nous n'avons gardé que les coupes qui intéressent entièrement les parois du canal vertébral, limité alors par le corps vertébral en avant, l'arc postérieur en arrière et sur les côtés par les deux pédicules de hauteur réduite et entièrement présents sur les coupes que nous pouvons considérer

comme horizontales. Même parmi les coupes ainsi choisies, nous n'avons gardé que celles qui passent sensiblement à mi-hauteur des pédicules.

Après cette dernière sélection, il nous reste finalement pour chacun des embryons étudiés trois coupes, l'une cervicale, l'autre thoracique, la troisième lombaire, lesquelles représentent chacune un niveau repérable avec précision par un diamètre caractéristique (voir page 35). Chez le poulet, ces niveaux correspondent aux trois mêmes vertèbres, cervicale, thoracique et lombaire, dans toute la série en raison de l'absence d'ascension de la moelle; chez la souris par contre, l'intumescence lombaire modifie sa situation topographique vertébrale en raison de l'ascension de la moelle, cependant que l'intumescence cervicale et la moelle thoracique sont peu touchées par cette ascension.

B. - Méthodes

Sur les coupes ainsi sélectionnées, il est possible de procéder à des dessins, puis à des mesures, et enfin au calcul d'indices à partir des résultats de ces mesures.

a. — DESSINS

Pour faire des dessins exacts et des mesures précises des coupes ainsi triées, celles-ci sont projetées sur un plan horizontal à l'aide d'une installation de microdiaprojection dont le grossissement, fixé à 50 fois, est régulièrement contrôlé au micromètre objectif.

Le dessin de chacune des coupes comporte trois contours :

1. - celui du canal vertébral, limité par la surface cartilagineuse ou osseuse dessinée sans tenir compte du périchondre ou du périoste ;
2. - celui de la moelle figurée sans son revêtement pie-mérien ;
3. - enfin celui du canal épendymaire, ajouté aux contours précédents en vue de la plus grande clarté du dessin.

b. — MESURES

Nous avons mesuré sur chacune des coupes les diamètres transversaux et sagittaux les plus grands de la moelle et du canal vertébral, diamètres habituellement mesurés par les Anatomistes sur la colonne Humaine et sur la moelle (Fig. 5). En faisant ces mesures, nous n'avons pas tenu compte de la saillie médiane vers le canal rachidien que le corps vertébral présente à certains stades du développement, ni des sillons

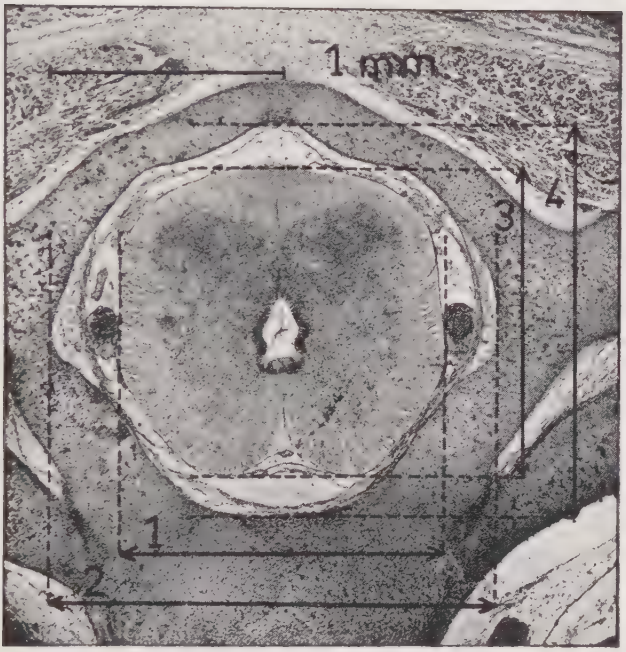


Fig. 5. — Principe de la mesure des plus grands diamètres de la moelle et du canal rachidien (coupe thoracique d'un embryon Humain du troisième mois).

1. - Diamètre transversal de la moelle.
2. - Diamètre transversal du canal.
3. - Diamètre sagittal de la moelle.
4. - Diamètre sagittal du canal.

médians, antérieur et postérieur, de la moelle. Par contre, la mesure du diamètre sagittal de la moelle lombaire du poulet comprend le sinus rhomboïdal, volumineuse saillie postérieure.

Ces mesures sont prises avec un pied à coulisse muni d'un vernier dont l'erreur absolue est inférieure au $1/10^e$ de millimètre. Ce $1/10^e$ de millimètre, erreur possible sur une image agrandie 50 fois, correspond à 2 μ sur la préparation elle-même. Comme les valeurs les plus petites obtenues sont de l'ordre du demi-millimètre (ou 500 μ) sur la préparation elle-même, l'erreur relative peut être considérée comme négligeable; elle ne représente en effet que 0,4% environ des mesures de la préparation.

Ainsi nous obtenons, aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire, considérés pour chacun des embryons, d'une part un dessin (Fig. 6 à 12, 19 à 23 et 30) fait des contours de la moelle et du canal rachidien et, d'autre part, les valeurs numériques des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal vertébral, ce qui nous permet à présent de comparer ces dessins et ces mesures dans la succession des embryons de nos séries. Pour faciliter l'appréciation des valeurs obtenues, celles-ci sont portées sur des tableaux chiffrés (tableaux IV, VIII et XII) puis sur des graphiques (Fig. 13 à 15 et 24 à 26). Ces derniers montrent par les courbes obtenues l'évolution des diamètres de la moelle et du canal rachidien inscrits en ordonnées en fonction de l'âge ou de la taille de l'embryon portés en abscisses.

c. — INDICES

Mais si l'emploi de dessins et de graphiques permet déjà de saisir les corrélations des formes du canal et de la moelle, la méthode des indices, à la manière des indices anthropométriques, précise davantage ces corrélations. Cette méthode fut déjà employée par G. IMHOF (1905) pour préciser l'évolution de la forme de la moelle de l'embryon Humain et plus récemment par P. DZIALLAS et H. LIPPERT (1960) pour l'étude du développement des diamètres des corps vertébraux de l'embryon Humain.

Nous avons ainsi choisi deux indices transverso-sagittaux, l'un de la moelle, l'autre du canal vertébral. Le premier des indices transverso-sagittaux, celui de la moelle (I.T.S. moelle) s'exprime par la formule:

$$\text{I.T.S. moelle} = \frac{\text{diamètre sagittal médullaire}}{\text{diamètre transversal médullaire}} \times 100 \qquad \text{(I)}$$

et aide à suivre l'évolution de la forme de la moelle envisagée par ses deux plus grands diamètres dans le plan horizontal.

Le second indice, l'indice transverso-sagittal du canal (I.T.S. canal) est calculé d'après la formule:

$$\text{I.T.S. canal} = \frac{\text{diamètre sagittal du canal}}{\text{diamètre transversal du canal}} \times 100 \qquad \text{(II)}$$

et permet d'apprécier la morphologie du canal vertébral d'après ses deux plus grands diamètres.

Pour essayer de connaître mieux encore les relations entre la morphologie de la moelle et du canal rachidien, nous avons calculé le rapport des indices transverso-sagittaux (R.I.T.S.), suivant la formule:

$$\text{R.I.T.S.} = \frac{\text{I.T.S. canal}}{\text{I.T.S. moelle}} \qquad \text{(III)}$$

Les valeurs de ce rapport peuvent, si elles se situent au voisinage de l'unité, démontrer une évolution parallèle du canal et de la moelle: les valeurs voisines de l'unité témoignent de valeurs sensiblement identiques des indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal vertébral, éléments qui doivent donc, l'un et l'autre, présenter une forme semblable.

Enfin, en plus des indices transverso-sagittaux du canal et de la moelle, l'importance de l'espace péri-médullaire intra-rachidien nous a suggéré le calcul d'indices appelés vertébro-médullaires. Ces indices seront calculés d'après les diamètres transversaux et sagittaux.

L'indice vertébro-médullaire transversal (I.V.M. transversal), évalué suivant la formule:

$$\text{I.V.M. transversal} = \frac{\text{diamètre transversal médullaire}}{\text{diamètre transversal du canal}} \times 100 \qquad \text{(IV)}$$

sert à observer l'évolution de l'espace situé entre la moelle et le canal vertébral dans le sens transversal.

L'indice vertébro-médulaire sagittal (I.V.M. sagittal), égal à la formule:

$$\text{I.V.M. sagittal} = \frac{\text{diamètre sagittal médullaire}}{\text{diamètre sagittal du canal}} \times 100 \qquad \text{(V)}$$

détermine l'évolution de l'espace situé entre la moelle et le canal dans le sens sagittal.

Tous ces indices, transverso-sagittaux de la moelle (I) et du canal (II), vertébro-médullaires transversaux (IV) et sagittaux (V), de même que les rapports (III) des indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal sont portés sur des tableaux chiffrés (tableaux V à VII, IX à XI et XIII à XV), puis sur des graphiques (Fig. 16 à 18 et 27 à 29) où leur évolution au cours du développement s'exprime de façon plus aisée à suivre que sur un tableau chiffré, les valeurs des indices étant portées en ordonnées, l'âge ou la taille des embryons en abscisses.

Nous disposons maintenant de trois types de données pour préciser l'existence d'une relation entre la forme du canal rachidien et la forme de la moelle:

1. - des dessins des coupes sélectionnées d'après les critères précisés précédemment (voir page 35), dessins tracés à l'aide d'une installation de microdiaprojection (Fig. 6 à 12, 19 à 23 et 30);

2. - des résultats des mesures prises sur ces mêmes coupes avec la technique décrite (voir page 36), c'est-à-dire des diamètres,

transversaux et sagittaux, les plus grands de la moelle et du canal vertébral portés sur des tableaux chiffrés (tableaux IV, VIII et XII) et sur des graphiques (Fig. 13 à 15 et 24 à 26);

3. - des indices calculés à partir des valeurs numériques de ces mesures selon les formules précédemment développées (voir page 38), portés sur des tableaux chiffrés (tableaux V à VII, X à XI et XIII à XV) et sur des graphiques (Fig. 16 à 18 et 27 à 29).

Tous ces éléments seront maintenant étudiés successivement chez le poulet, puis chez la souris et enfin chez l'embryon Humain.

III. - RESULTATS

A. - Série d'embryons de poulet

Les dessins des coupes, tracés sous projection, les mesures des diamètres du canal rachidien et de la moelle, et enfin les indices calculés à partir de ces mesures, nous permettent à présent d'étudier les relations des formes de la moelle et du canal rachidien au cours du développement de l'embryon du poulet.

a. — DESSINS

L'examen des dessins de coupes horizontales du canal vertébral de l'embryon de poulet et de sa moelle aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire, met en évidence une étroite adaptation de la forme de ces deux éléments (Fig. 6 à 12).

Cette adaptation étroite se manifeste dès le sixième jour du développement embryonnaire, quand le canal rachidien cartilagineux est entièrement constitué, formé par le corps vertébral, les pédicules et l'arc postérieur, et demeure pratiquement constante durant toute l'évolution jusqu'à l'éclosion. Si la forme du canal vertébral ou de la moelle varie, les variations des deux éléments sont toujours parallèles. Ce parallèlisme de l'évolution est particulièrement bien illustré par le développement de la moelle et du canal rachidien au niveau cervical pris ici comme exemple.

A ce niveau cervical, les deux éléments, légèrement aplatis en direction sagittale ou dorso-ventrale, c'est-à-dire à grand diamètre transversal jusqu'au neuvième jour de l'incubation (Fig. 7), vont par la suite se développer parallèlement en direction dorso-ventrale ou sagittale, si bien qu'au treizième jour leur diamètre sagittal dépasse en importance le diamètre transversal (Fig. 9).

Par la suite, on note un nouvel aplatissement en direction sagittale ou dorso-ventrale et les deux éléments présentent un grand diamètre transversal: cette forme persiste jusqu'à l'éclosion (Fig. 12).

Le parallélisme constant du développement du canal vertébral et de la moelle, illustré ici par l'exemple de l'évolution de ces éléments au niveau cervical, se retrouve comparable aux deux autres niveaux, thoracique et lombaire.

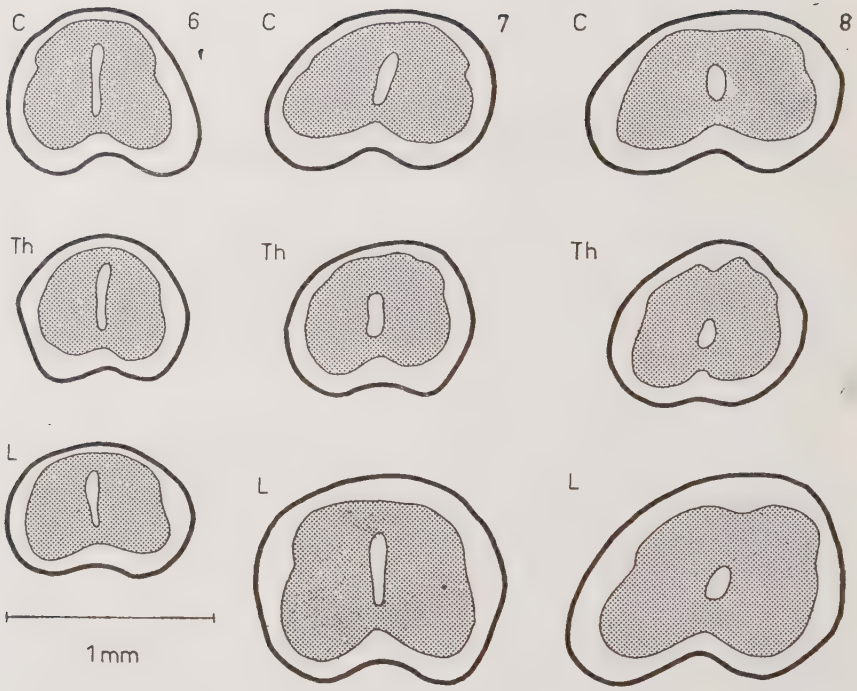


Fig. 6. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de poulet âgés de 6, 7 et 8 jours aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

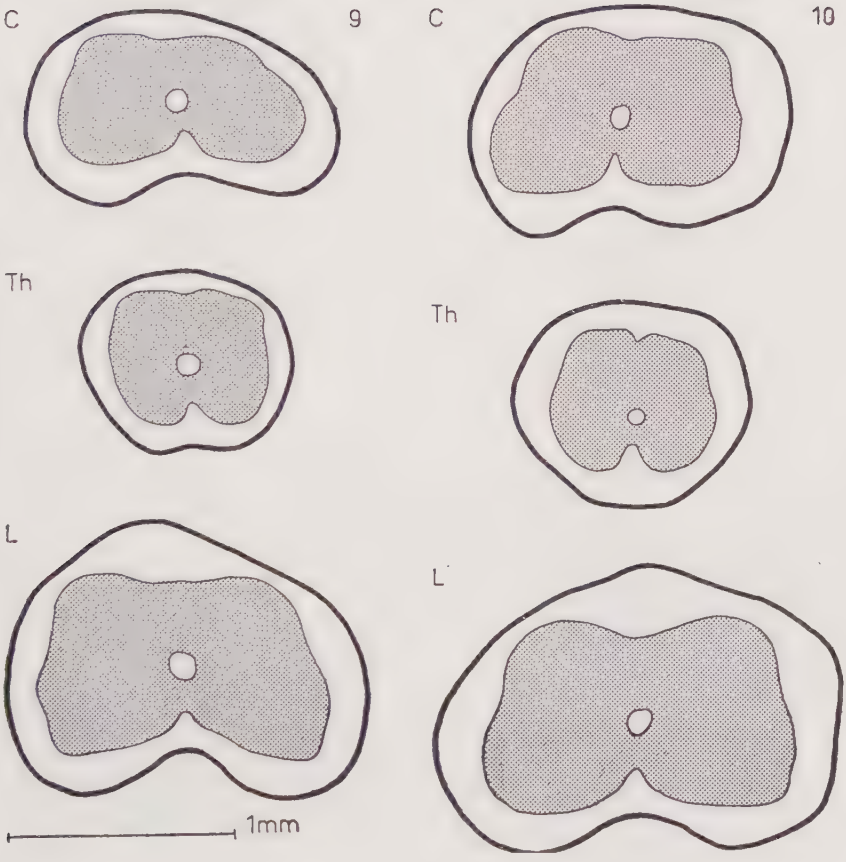


Fig. 7. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de poulet âgés de 9 et 10 jours, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

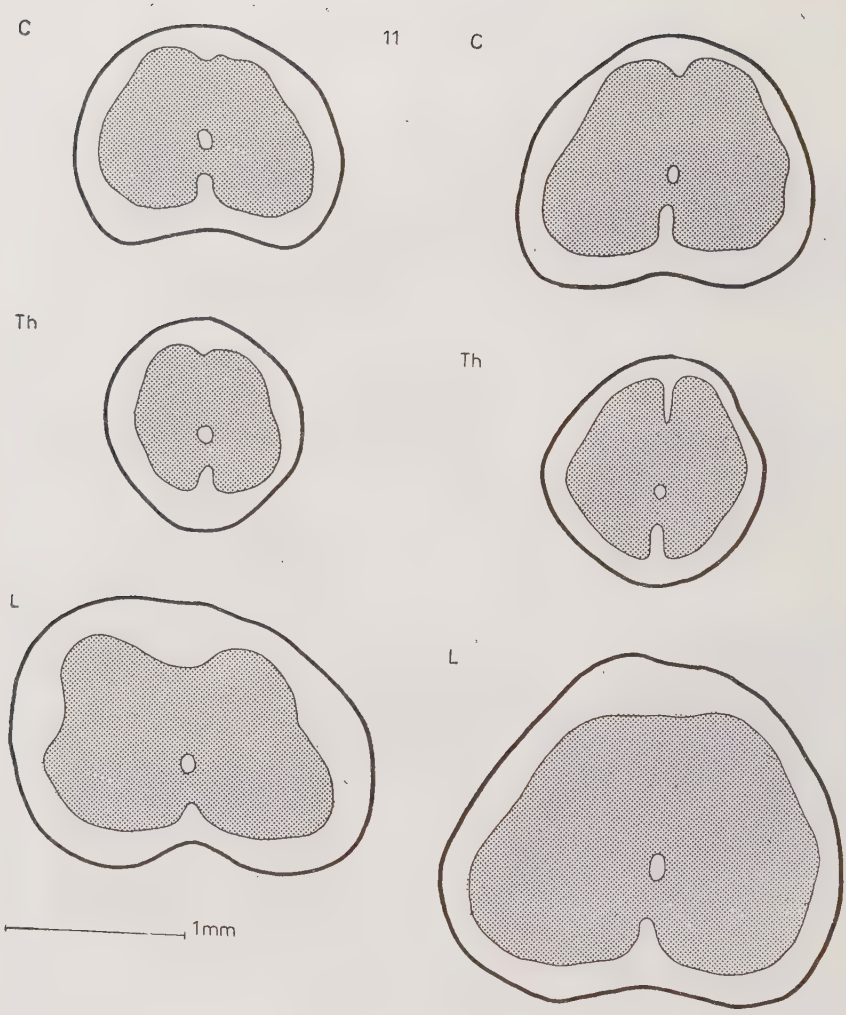


Fig. 8. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de poulet âgés de 11 et 12 jours, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

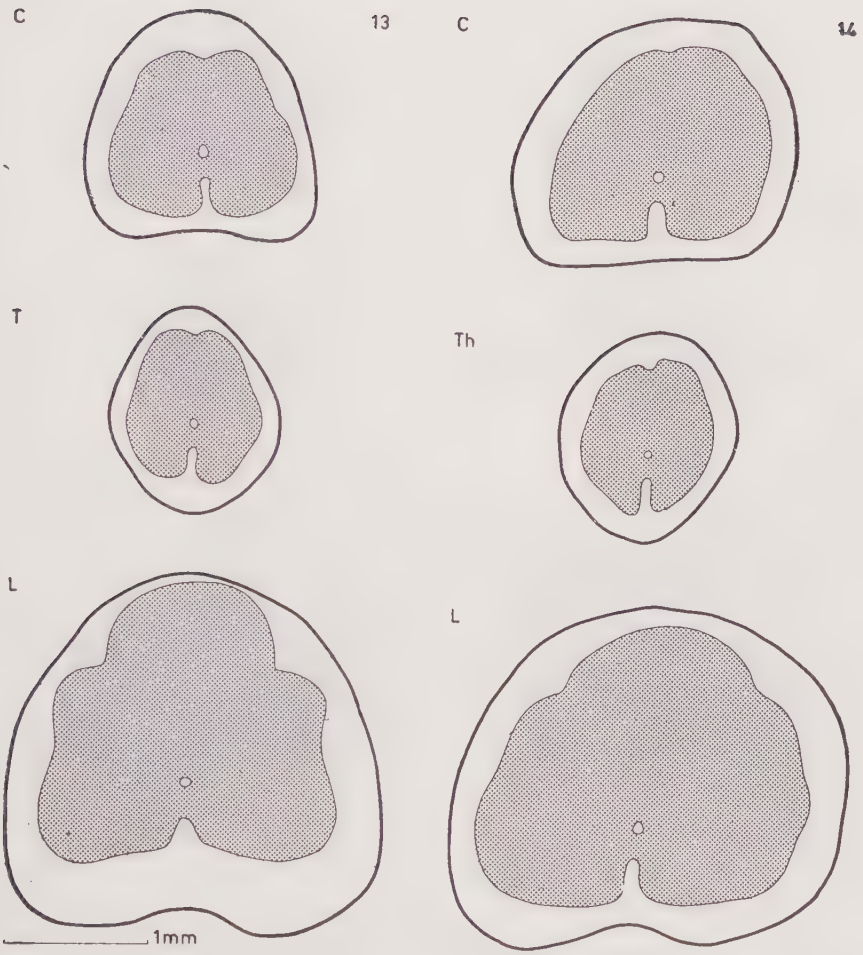


Fig. 9. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de poulet âgés de 13 et 14 jours, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

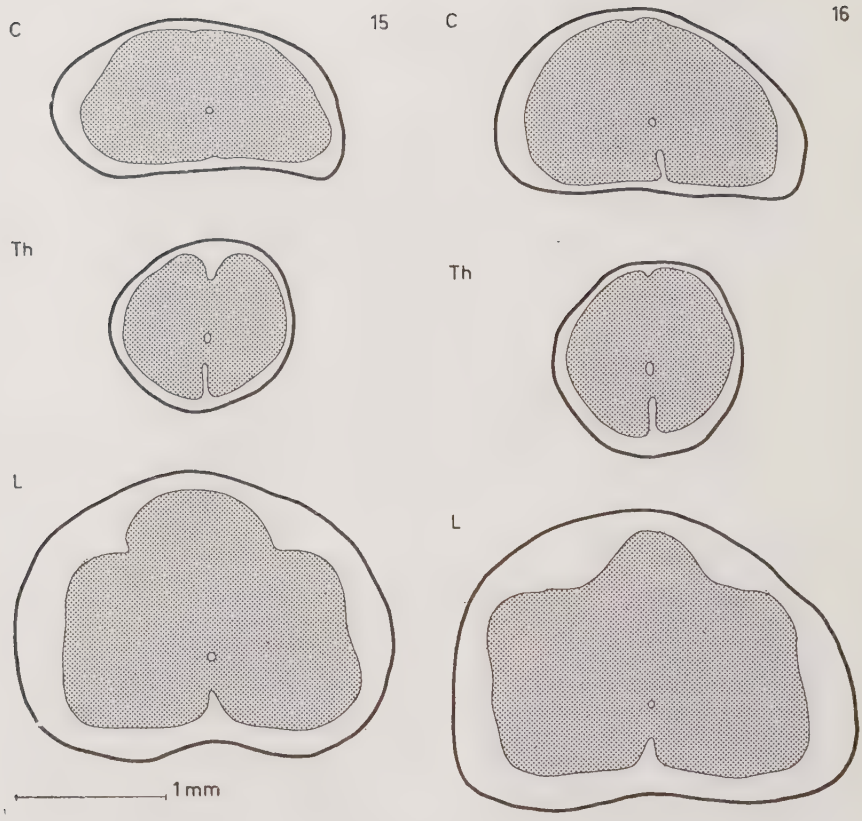


Fig. 10. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de poulet âgés de 15 et 16 jours, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

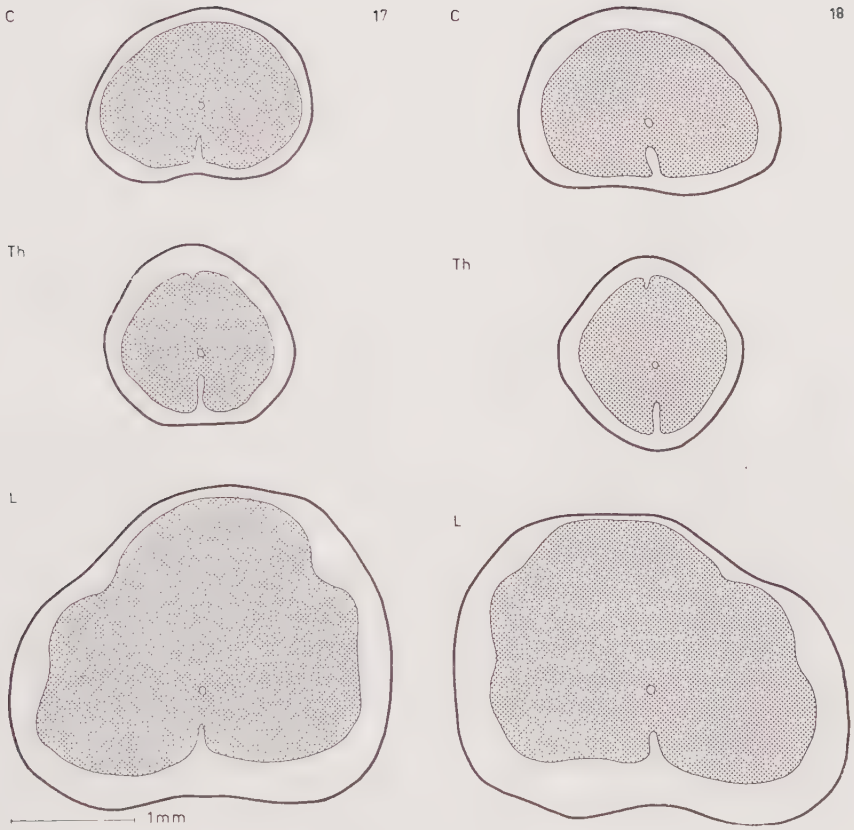


Fig. 11. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de poulet âgés de 17 et 18 jours, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

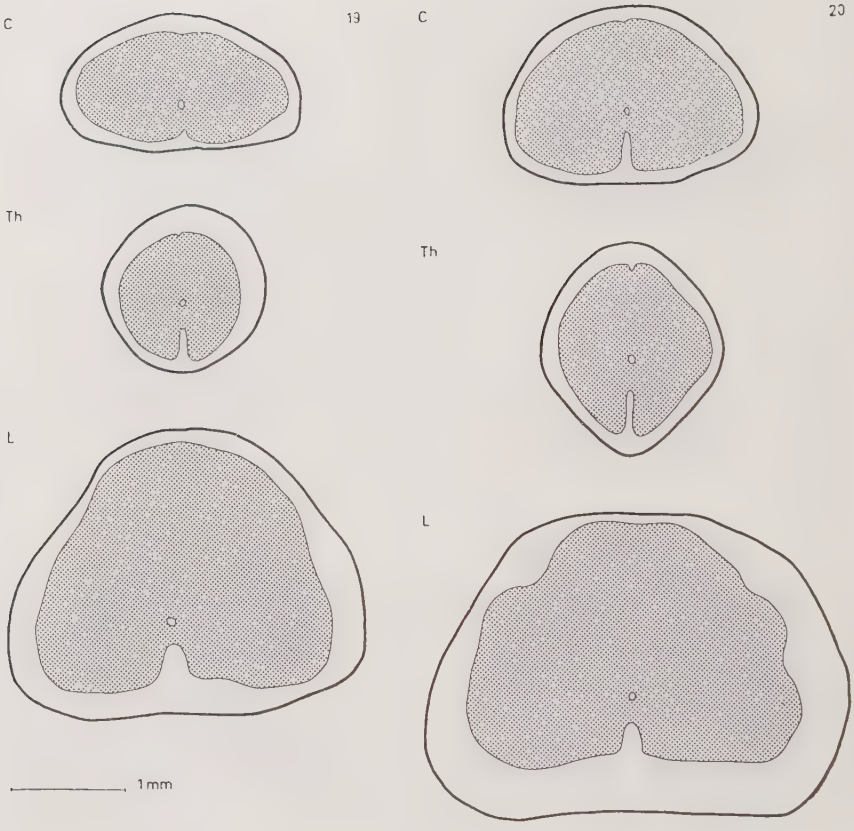


Fig. 12. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de poulet âgés de 19 et 20 jours, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

b. — MESURES

Les variations de forme que nous venons de décrire résultent en fait de l'irrégularité du développement des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal rachidien. La mesure de ces diamètres permet de préciser les variations de forme que montrent la moelle et le canal rachidien (tableau IV). L'évolution des diamètres transversaux et sagittaux de ces éléments sera successivement étudiée aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

1. — Au niveau de la colonne cervicale, les diamètres transversaux de la moelle et du canal rachidien ont un développement plus régulier que les diamètres sagittaux de ces éléments.

Ainsi les diamètres transversaux sont, au sixième jour de l'incubation, de 0,70 mm pour la moelle et de 0,88 mm pour le canal (Fig. 6), et vont atteindre au douzième jour 1,35 mm pour la première et 1,58 mm pour le second (Fig. 9).

Les diamètres sagittaux mesurent au sixième jour, celui de la moelle 0,63 mm, celui du canal 0,80 mm; ils présentent au douzième jour, l'un la valeur de 1,12 mm, l'autre celle de 1,40 mm.

Les diamètres transversaux ont donc augmenté, celui de la moelle de 0,65 mm, celui du canal de 0,70 mm, et les diamètres sagittaux présentent un accroissement de 0,49 mm pour la moelle et de 0,60 mm pour le canal: les deux diamètres de ces deux éléments ont des croissances comparables.

Après le douzième jour de l'incubation et jusqu'au vingtième, les diamètres sagittaux auront un développement moins important que les diamètres transversaux. Lors de l'éclosion à la fin du vingtième jour, le diamètre transversal de la moelle est de 1,95 mm, celui du canal, de 2,16 mm; le diamètre sagittal de la première atteint 1,35 mm, celui du second 1,55 mm (Fig. 12).

Les diamètres transversaux ont ainsi augmenté de 0,60 mm pour la moelle et de 0,58 mm pour le canal, alors que l'accroissement des diamètres sagittaux, comparable à celui des diamètres transversaux durant la période précédemment étudiée, est plus faible dans ce second intervalle et représente 0,23 mm au niveau de la moelle et 0,15 mm au niveau du canal.

2. — Dans la région thoracique, les différents diamètres de la moelle et du canal s'accroissent régulièrement; cependant la croissance des diamètres sagittaux est plus rapide que celle des diamètres transversaux comme le montre la comparaison des mesures effectuées au sixième jour de l'incubation et au vingtième.

Les diamètres transversaux qui étaient, au sixième jour, de 0,62 mm pour la moelle et de 0,80 mm pour le canal (Fig. 6), seront au vingtième jour de 1,32 mm pour la première et de 1,54 mm pour le second (Fig. 12).

Pendant le même temps, les diamètres sagittaux passent, celui de la moelle de 0,55 mm à 1,50 mm, et celui du canal de 0,70 à 1,82 mm.

NIVEAU CERVICAL				
Age	Ø T moelle	Ø T canal	Ø S moelle	Ø S canal
6	0,70	0,88	0,63	0,80
7	0,90	1,08	0,62	0,76
8	0,94	1,20	0,56	0,76
9	1,10	1,38	0,62	0,88
10	1,14	1,44	0,74	1,02
11	1,20	1,48	0,96	1,24
12	1,36	1,58	1,12	1,40
13	1,30	1,60	1,16	1,60
14	1,54	1,94	1,36	1,72
15	1,66	1,96	0,90	1,10
16	1,66	2,02	1,14	1,26
17	1,66	1,82	1,20	1,38
18	1,78	2.12	1.22	1,52
19	1,86	2,08	0,97	1,20
20	1,95	2,16	1,35	1,55

NIVEAU THORACIQUE				
Age	Ø T moelle	Ø T canal	Ø S moelle	Ø S canal
6	0,62	0,80	0,55	0,70
7	0,68	0,88	0,46	0,74
8	0,72	0,92	0,60	0,80
9	0,72	0,92	0,62	0,80
10	0,74	1,04	0,76	0,90
11	0,80	1,08	0,82	1,16
12	1,00	1,22	1,02	1,26
13	0,96	1,16	1,08	1,40
14	0,94	1,22	1,10	1,46
15	1,08	1,20	0,96	1,14
16	1,10	1,24	1,10	1,28
17	1,24	1,56	1,16	1,46
18	1,22	1,52	1,32	1,58
19	1,08	1,43	1,12	1,44
20	1,32	1,54	1,50	1,82

NIVEAU LOMBAIRE				
Age	Ø T moelle	Ø T canal	Ø S moelle	Ø S canal
6	0,70	0,88	0,76	0,60
7	0,94	1,18	0,51	0,98
8	1,02	1,28	0,80	1,06
9	1,30	1,58	0,86	1,24
10	1,40	1,82	0,88	1,28
11	1,62	2,04	1,10	1,54
12	1,92	2,18	1,44	1,94
13	2,04	2,62	1,98	2,54
14	2,36	2,80	1,96	2,34
15	2,00	2,52	1,64	1,92
16	2,08	2,64	1,66	2,00
17	2,64	3,10	2,30	2,58
18	2,70	3,24	2,20	2,54
19	2,60	3,10	2,20	2,53
20	2,87	3,64	2,35	2,62

Tableau IV. — Diamètres transversaux et sagittaux (exprimés en mm) de la moelle et du canal rachidien d'une série d'embryons de poulet allant du sixième jour de l'incubation à l'éclosion.

Ainsi les diamètres transversaux présentent un accroissement comparable de 0,70 mm pour la moelle et de 0,74 mm pour le canal; l'augmentation des diamètres sagittaux est plus importante, de 0,95 mm au niveau de la moelle et de 1,12 mm au niveau du canal.

3. — A la hauteur de la colonne lombaire, les diamètres mesurés au niveau du canal vertébral et de la moelle montrent une évolution semblable à celle qui a été décrite dans la région cervicale, c'est-à-dire que l'on retrouve l'opposition entre la croissance régulière des diamètres transversaux et l'irrégularité de l'accroissement des diamètres sagittaux de ces éléments.

Ainsi, entre le sixième jour de l'incubation (Fig. 6) et le treizième (Fig. 9), le diamètre transversal de la moelle, de 0,70 mm arrive à 2,04 mm, celui du canal, de 0,88 mm à 2,62 mm.

Durant le même intervalle, le diamètre sagittal de la moelle croit de 0,51 mm à 1,98 mm, celui du canal, de 0,60 mm à 2,54 mm.

L'augmentation est de 1,34 mm pour le diamètre transversal de la moelle et de 1,74 mm pour le diamètre correspondant du canal, cependant que les diamètres sagittaux présentent un accroissement comparable de 1,47 mm au niveau de la moelle et de 1,94 mm au niveau du canal.

Au cours de la période entre le treizième jour de l'incubation et le vingtième, la croissance des diamètres sagittaux est faible, comparée à celle des diamètres transversaux (Fig. 12).

A l'éclosion, survenue à la fin du vingtième jour, les diamètres transversaux mesurent, celui de la moelle 2,87 mm, celui du canal 3,64 mm. Le diamètre sagittal de la première atteint 2,35 mm, celui du second 2,62 mm.

L'accroissement des diamètres transversaux, de 0,83 mm au niveau de la moelle et de 1,02 mm au niveau du canal, semblable durant la période précédente à celui des diamètres sagittaux, dépasse maintenant ce dernier qui arrive à 0,37 mm pour la moelle et à 0,08 mm pour le canal.

En conclusion, l'étude des mesures des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal rachidien met en évidence:

1. — au niveau de la moelle dorsale et de son canal, une croissance régulière des diamètres transversaux et sagittaux de ces deux éléments;

2. — au niveau des intumescences cervicale et lombaire, une évolution plus complexe: après le douzième jour, les diamètres sagittaux n'augmentent plus que faiblement par rapport à l'important accroissement des diamètres sagittaux, ce qui tend à donner aux intumescences et au canal qui les abrite, leur forme définitive caractérisée par l'importance des diamètres transversaux.

Les variations de forme observées sur les dessins et précisées par les mesures des diamètres, ressortent encore mieux de l'examen des graphiques (Fig. 13 à 15) sur lesquels les mesures précédentes sont portées en ordonnées, l'âge des embryons inscrits en abscisses. L'allure des tracés obtenus traduit l'évolution des différents diamètres au cours du développement embryonnaire. Ces graphiques permettent surtout de comparer l'évolution du canal, représentée en pointillé, à celle de la moelle inscrite en trait plein.

L'étude de ces courbes aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire montre :

1. — l'accroissement régulier des diamètres transversaux de la moelle et du canal rachidien (Fig. 13 à 15);

2. — le développement irrégulier des diamètres sagittaux de ces deux éléments, d'ailleurs variable suivant le niveau considéré:

— dans la région thoracique, cette évolution est régulière comme celle des diamètres transversaux (Fig. 14);

— au niveau cervical et lombaire, après une croissance régulière jusqu'aux environs du douzième jour de l'incubation, la croissance des diamètres sagittaux est ralentie jusqu'à l'éclosion (Fig. 13 et 15).

3. — le remarquable parallélisme des tracés qui représentent le développement des diamètres du canal vertébral, en pointillé, et de la moelle, en trait plein (Fig. 13 à 15).

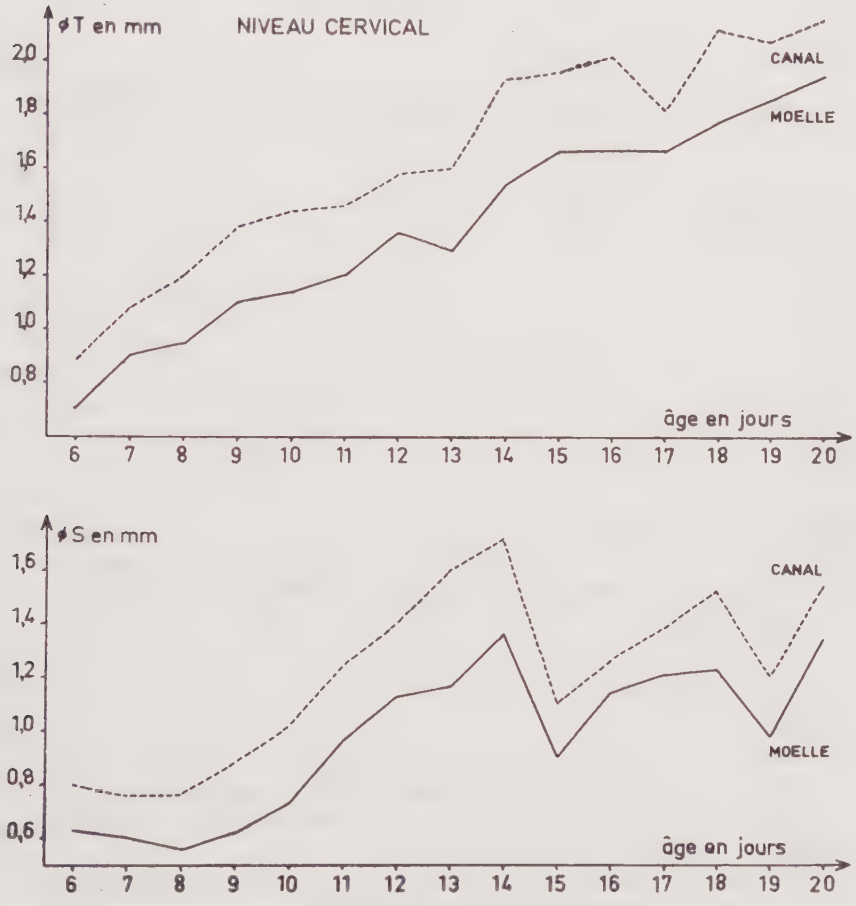


Fig. 13. — Diamètres transversaux (Ø T) et sagittaux (Ø S) de la moelle (en trait plein) et du canal rachidien (en pointillé) de l'embryon de poulet au niveau cervical.

Ces courbes traduisent l'opposition entre la croissance régulière des diamètres transversaux et celle, moins régulière, des diamètres sagittaux, ralentie après le quatorzième jour du développement.

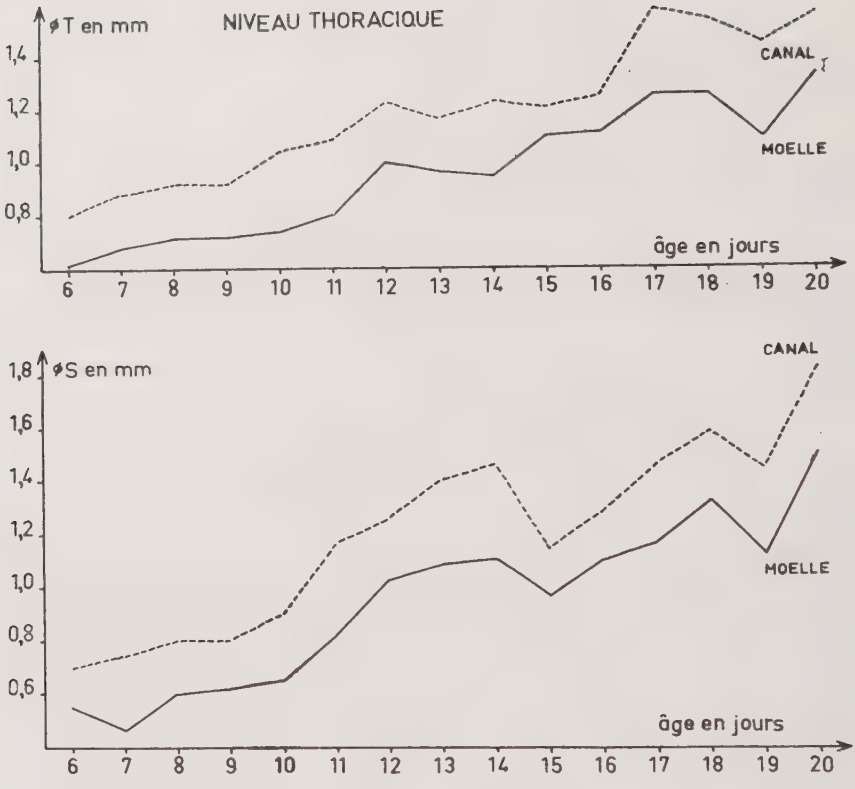
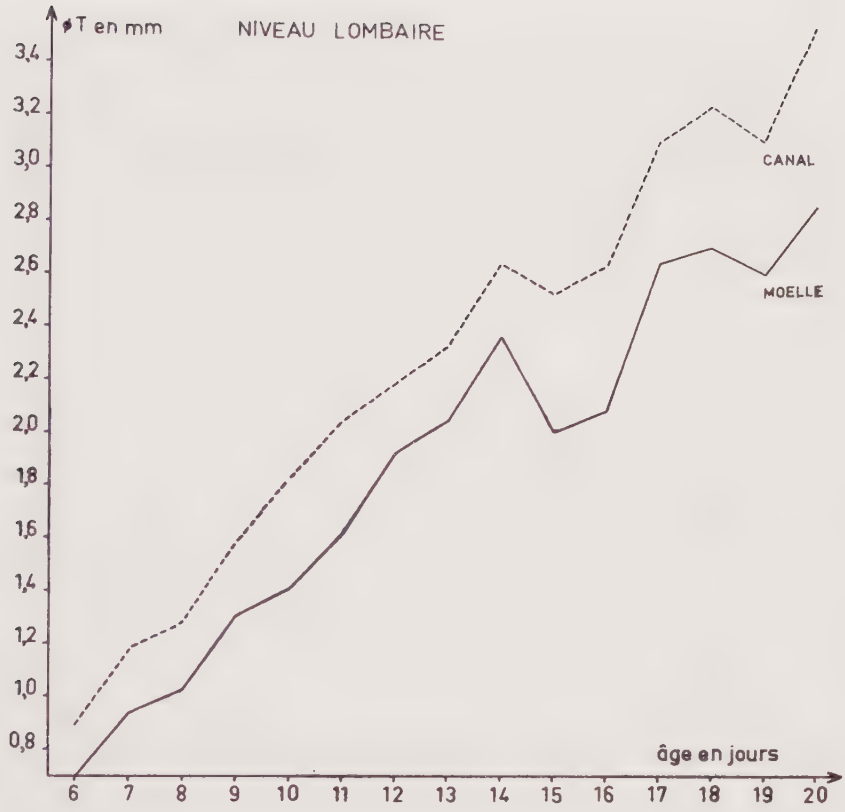
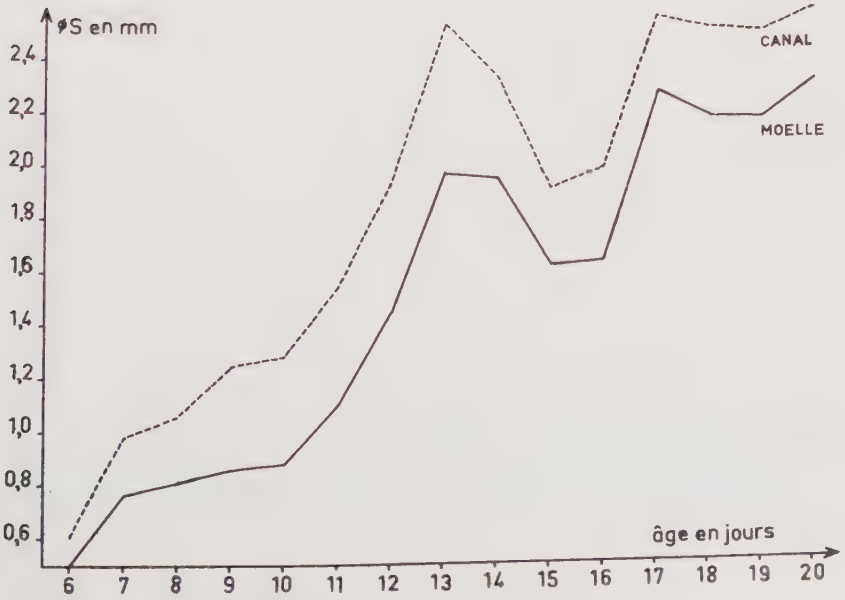


Fig. 14. — Diamètres transversaux (Ø T) et sagittaux (Ø S) de la moelle (en trait plein) et du canal rachidien (en pointillé) de l'embryon de poulet au niveau thoracique.

Ces tracés mettent en évidence la croissance régulière des diamètres transversaux et sagittaux à ce niveau thoracique.


ϕT en mm
NIVEAU LOMBAIRE
3,4
3,2
3,0
2,8
2,6
2,4
2,2
2,0
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
CANAL
MOELLE
âge en jours
6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20


ϕS en mm
2,4
2,2
2,0
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
CANAL
MOELLE
âge en jours
6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

◄——

Fig. 15. — Diamètres transversaux (Ø T) et sagittaux (Ø S) de la moelle (en trait plein) et du canal rachidien (en pointillé) de l'embryon de poulet au niveau lombaire.

Ces graphiques font ressortir le contraste entre la régularité de la croissance des diamètres transversaux et la moindre régularité de celle des diamètres sagittaux, ralentie après le treizième jour.

c. — INDICES

C'est pour vérifier le parallélisme du développement des diamètres transversaux et sagittaux du canal vertébral et de la moelle que nous avons calculé les indices transverso-sagittaux de ces deux éléments (voir page 38). Ces indices, qui permettent d'apprécier la morphologie de la moelle et du canal rachidien d'après leurs plus grands diamètres dans le plan perpendiculaire au grand axe de la colonne, traduisent les mêmes variations que celles décrites sur les dessins, puis sur les tableaux et les graphiques où sont inscrites les valeurs des diamètres mesurés (tableau IV).

Age	Niveau cervical		Niveau thoracique		Niveau lombaire	
	ITS moelle	ITS canal	ITS moelle	ITS canal	ITS moelle	ITS canal
6	90,0	90,9	88,7	87,5	72,8	68,1
7	68,8	70,3	67,6	84,0	80,8	83,0
8	59,6	63,3	83,3	86,9	78,4	82,8
9	56,3	63,7	86,1	86,9	66,1	78,4
10	64,9	70,8	89,1	86,5	62,8	70,3
11	80,0	83,7	102,5	107,4	67,9	75,4
12	82,3	88,6	102,0	103,2	75,0	88,9
13	89,2	100,0	112,5	120,6	97,0	86,9
14	88,3	88,6	117,0	119,6	83,0	83,5
15	54,2	56,1	88,8	95,0	82,0	76,1
16	68,6	62,3	100,0	103,0	79,8	75,7
17	72,2	75,8	93,5	93,5	87,1	83,2
18	68,5	71,6	108,1	103,9	81,4	78,3
19	52,1	57,6	103,7	100,6	84,6	81,6
20	69,2	71,7	113,6	118,1	81,8	71,9

Tableau V. — Indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien d'une série d'embryons de poulet allant du sixième jour de l'incubation à l'éclosion, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

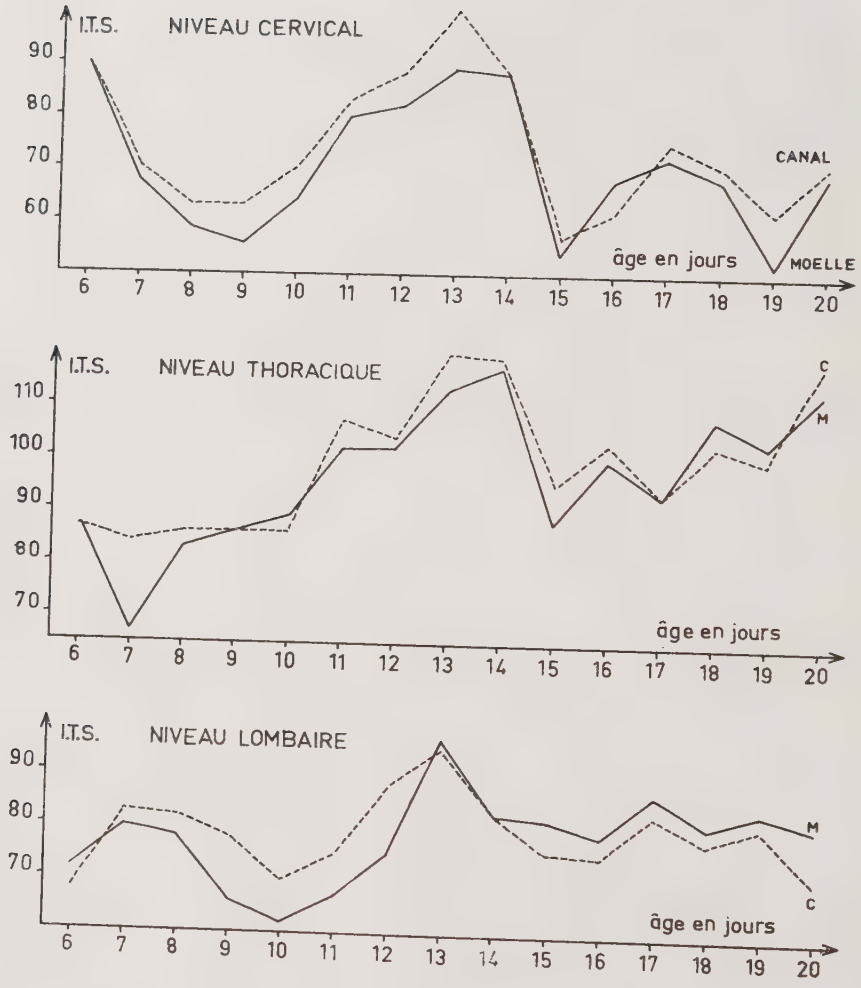


Fig. 16. — Indices transverso-sagittaux de la moelle (en trait plein) et du canal rachidien (en pointillé) de l'embryon de poulet.

A tous les niveaux, les courbes des indices de la moelle et du canal sont parallèles, ce qui montre les variations comparables de la forme de ces éléments.

De plus, les graphiques où a été inscrite l'évolution de ces indices, tendent à confirmer par le parallélisme des tracés des indices transverso-sagittaux de la moelle, en trait plein, et du canal vertébral, en pointillé, l'existence d'une relation entre la forme de la moelle et la forme du canal l'abritant: quel que soit en effet le niveau considéré, les tracés sont remarquablement parallèles (Fig. 16).

Pour confirmer ce parallélisme, nous avons étudié l'évolution du rapport des indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien (voir page 38). Les valeurs obtenues aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire, oscillent autour d'une valeur très proche de l'unité (tableau VI), ce qui se traduit encore mieux sur un graphique où sont inscrites les valeurs de ce rapport aux trois niveaux considérés pour chacun des embryons étudiés (Fig. 17).

Age	Niveau cervical	Niveau thoracique	Niveau lombaire
6	1,01	0,98	0,93
7	1,02	1,24	1,02
8	1,06	1,04	1,05
9	1,13	1,00	1,18
10	1,09	0,97	1,11
11	1,04	1,04	1,11
12	1,07	1,01	1,18
13	1,12	1,07	0,99
14	1,00	1,02	1,00
15	1,03	1,06	0,92
16	0,90	1,03	0,94
17	1,04	1,00	0,95
18	1,04	0,96	0,96
19	1,10	0,97	0,96
20	1,03	1,03	0,87

Tableau VI. — Evolution du rapport des indices transverso-sagittaux d'une série d'embryons de poulet allant du sixième jour de l'incubation à l'éclosion, calculés pour les trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

Les faibles oscillations de ces tracés qui ne s'écartent que peu de l'unité, témoignent de l'étroitesse du parallélisme dans le développement de la moelle et du canal étudié par l'évolution des diamètres transversaux et sagittaux de ces deux éléments.

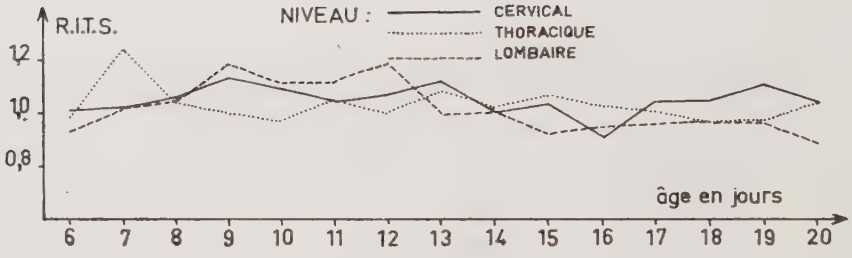


Fig. 17. — Rapport des indices transverso- sagittaux de l'embryon de poulet. Les tracés oscillent autour d'une valeur moyenne proche de l'unité.

Si les résultats précédents plaident en faveur du rôle morphogène joué par la moelle à l'égard du canal rachidien, nous avons voulu préciser encore ce rôle en mesurant l'espace péri-médullaire intra-rachidien dont l'importance pourrait faire penser que la moelle, trop éloignée des parois vertébrales, ne peut modeler le canal rachidien. Cet espace a été mesuré grâce à deux indices vertébro-médullaires, l'un transversal, l'autre sagittal (voir page 39) servant à étudier l'évolution de l'espace situé entre la moelle et le canal vertébral, en direction transversale et en direction sagittale (tableau VII).

Age	Niveau cervical		Niveau thoracique		Niveau lombaire	
	IVM trans.	IVM sagit.	IVM trans.	IVM sagit.	IVM trans.	IVM sagit.
6	79,5	78,7	77,5	78,5	79,5	85,0
7	83,3	81,5	77,2	62,1	79,6	77,5
8	78,3	73,6	78,2	75,0	79,6	75,4
9	79,7	70,4	78,2	77,5	82,2	69,3
10	79,1	72,5	71,1	73,3	76,9	68,7
11	81,0	77,4	74,0	70,6	79,4	71,4
12	86,0	80,0	81,9	80,9	88,0	74,2
13	81,2	72,5	82,7	77,1	77,8	77,9
14	79,3	79,0	77,0	75,3	84,2	83,7
15	84,6	81,8	90,0	84,2	79,3	85,4
16	82,1	90,4	88,7	85,9	78,7	83,0
17	91,2	86,9	79,4	79,4	85,1	89,1
18	83,9	80,2	80,2	83,5	83,3	86,6
19	89,4	80,8	75,5	77,7	83,8	86,9
20	90,2	87,0	85,7	82,4	78,8	89,6

Tableau VII. – Indices vertébro-médullaires transversaux et sagittaux d'une série d'embryons de poulet allant du sixième jour de l'incubation à l'éclosion, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

Les valeurs de ces indices ont été portées sur des graphiques où les tracés correspondant aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire, se caractérisent par la faiblesse de leurs fluctuations (Fig. 18). Par ailleurs, ces traces montrent une très lente ascension témoignant d'une légère diminution relative de l'espace péri-médullaire intra-rachidien, c'est-à-dire que l'aire médullaire tend à occuper une surface plus importante de l'aire du canal vertébral au cours de la croissance, ou encore que le canal s'accroît un peu moins vite que la moelle.

En résumé, l'étude des dessins des coupes sélectionnées, intéressant les unes le plus grand diamètre transversal médullaire au niveau cervical, les autres le plus petit diamètre transversal de la moelle thoracique, les dernières le plus grand diamètre transversal médullaire à l'étage lombaire, les résultats des mesures de leurs diamètres transversaux et sagit-

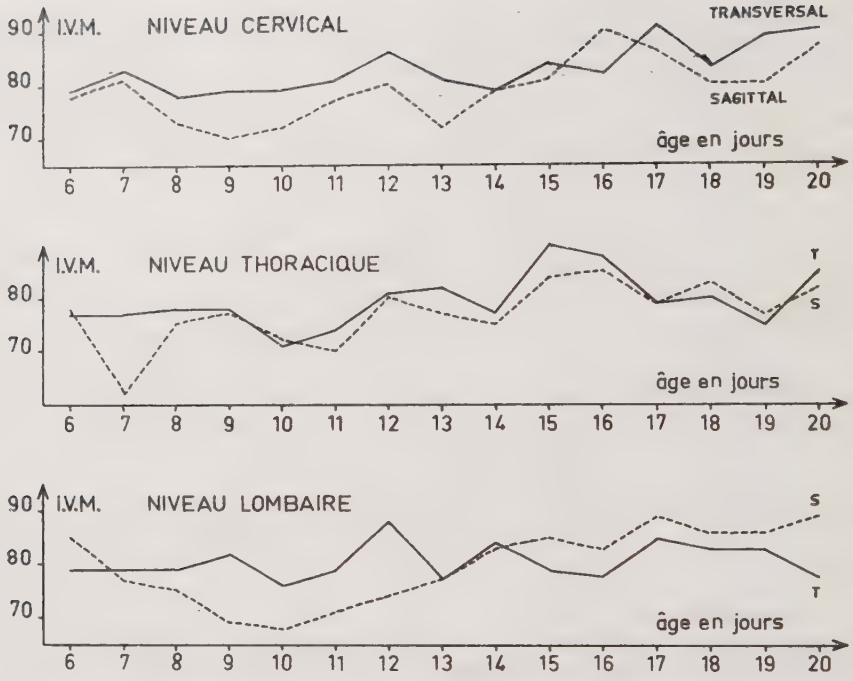


Fig. 18. — Indices vertébro-médullaires transversal (en trait plein) et sagittal (en pointillé) de l'embryon de poulet.

Les graphiques montrent une très légère ascension, témoignant d'une très légère diminution de l'espace péri-médullaire intra-rachidien.

taux et les indices calculés à partir de ces valeurs numériques montrent chez l'embryon de poulet :

1. - un remarquable parallélisme du développement et de l'évolution de la forme de la moelle et du canal rachidien;

2. - les particularités de l'évolution des diamètres transversaux et sagittaux de ces deux éléments: on note une croissance régulière des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal au niveau thoracique, cependant que l'étude de l'évolution de ces diamètres aux niveaux cervical et lombaire met en évidence un développement régulier des diamètres transversaux s'opposant à l'irrégularité de la croissance des diamètres sagittaux.

B. - Série d'embryons de souris

Les résultats fournis par l'étude des dessins, des mesures et des indices obtenus à partir des coupes d'une série d'embryons de poulet, témoignant du parallélisme dans le développement de la moelle et du canal rachidien vont être confirmés par l'examen des coupes d'une série d'embryons de souris.

Comme il a été précisé (voir page 33), la souris se différencie du poulet, en ce qui concerne ce travail, par l'existence, au cours du développement embryonnaire, d'une ascension médullaire et par l'absence d'un sinus rhomboïdal, formation caractéristique de la seule moelle des oiseaux.

L'étude du développement de la moelle et du canal vertébral de l'embryon de souris est basée, comme celle faite sur les embryons de poulet, sur l'examen des dessins des coupes tracés sous projection, les mesures des diamètres du canal rachidien et de la moelle et les indices calculés à partir de ces mesures.

a. — DESSINS

L'examen des dessins de coupes horizontales de la moelle et du canal vertébral de l'embryon de souris aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire (Fig. 18 à 23), montre nettement l'adaptation de la forme de ces deux éléments. Cette adaptation, déjà évidente chez l'embryon de 13,1 mm, dont le canal rachidien est fermé dorsalement, demeure constante durant toute l'évolution foetale jusqu'à la naissance, les variations de forme de la moelle entraînant des variations semblables de la forme du canal, ce qui s'observe en particulier au niveau de l'intumescence lombaire ici prise comme exemple.

Au stade où l'embryon mesure 13,1 mm, la moelle et le canal rachidien du niveau lombaire sont légèrement aplatis en direction sagittale ou dorso-ventrale (Fig. 19); cet aplatissement s'accentuera pour atteindre son maximum chez l'embryon de 16,4 mm (Fig. 20); puis l'évolution entraînera une croissance plus rapide des deux diamètres sagittaux: chez l'embryon de 23,0 mm, la moelle et le canal vertébral ont retrouvé une forme caractérisée par un faible aplatissement dorso-ventral (Fig. 23), semblable à celle qu'on avait observé sur l'embryon de 13,1 mm. Enfin, le nouveau-né long de 24,8 mm, montre un nouvel aplatissement de ces deux éléments (Fig. 23).

Ainsi la complexité des modifications de la forme de la moelle et du canal rachidien au niveau lombaire fait ressortir l'étroitesse de l'adaptation des formes de ces deux éléments, adaptation qui se retrouve également aux deux niveaux cervical et thoracique où toutefois les variations des formes sont moins importantes.

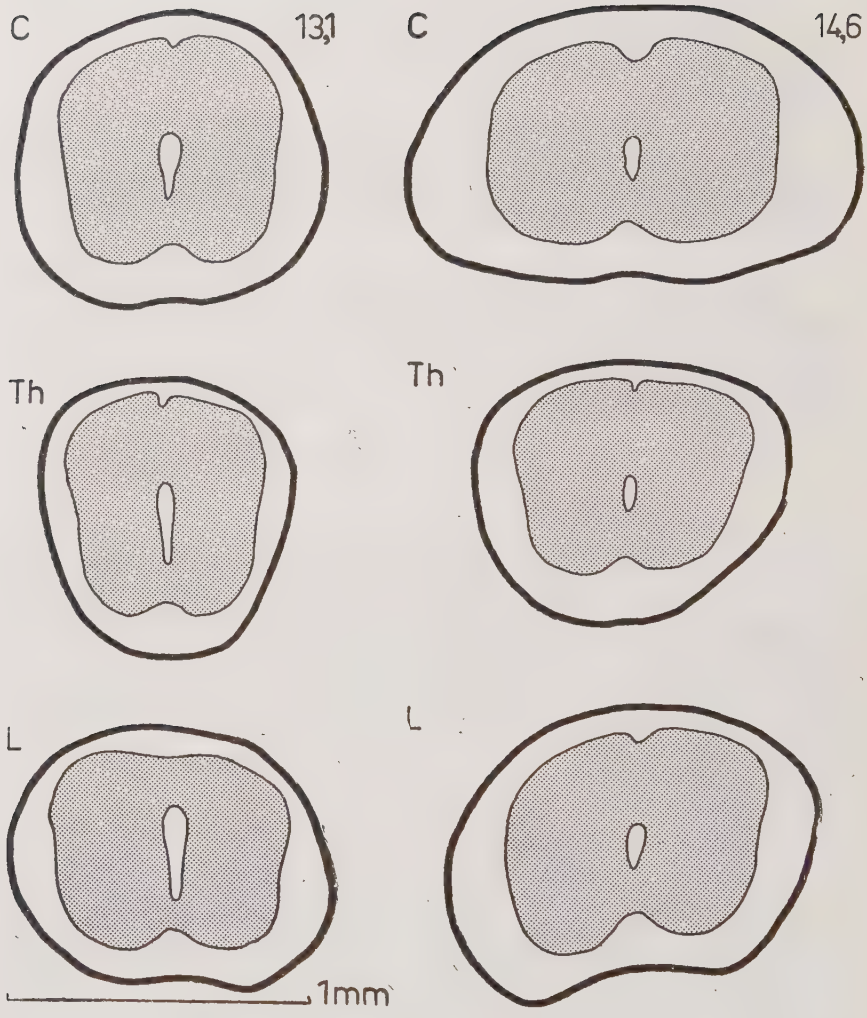


Fig. 19. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de souris d'une taille de 13,1 mm et 14,6 mm, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

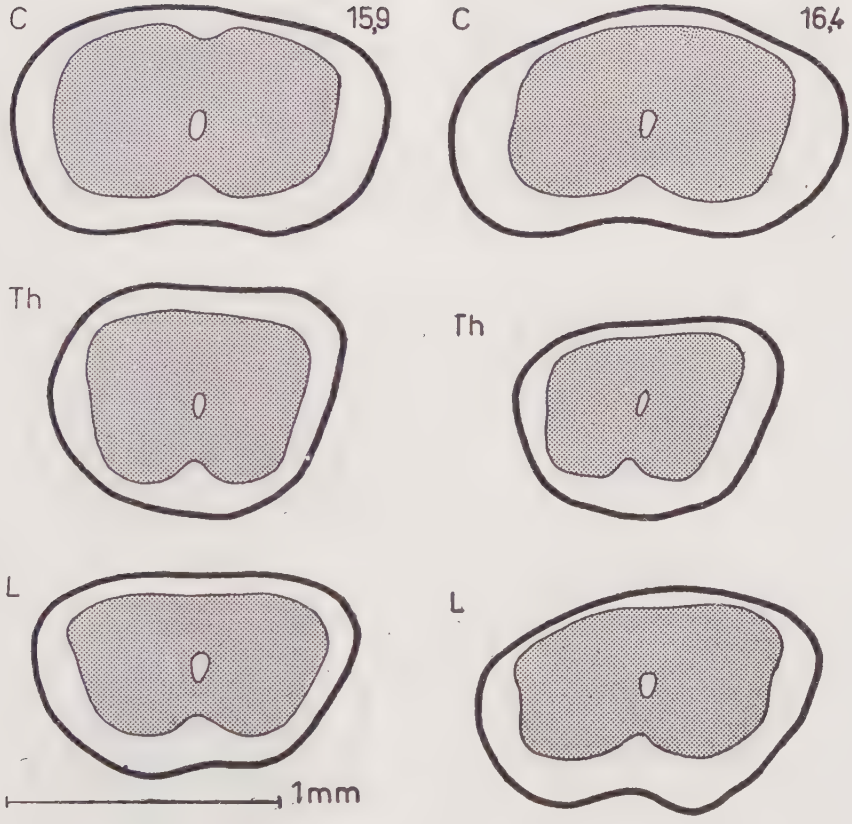


Fig. 20. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de souris d'une taille de 15,9 mm et 16,4 mm, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

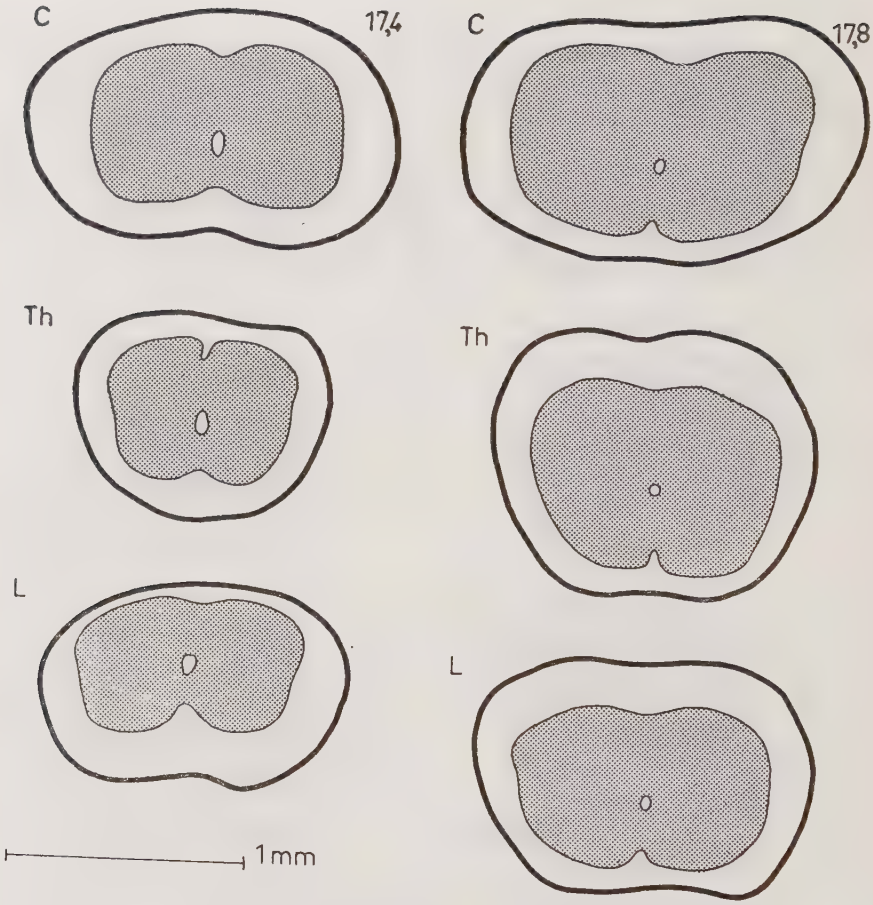


Fig. 21. — Contours de la moelle et du canal des embryons de souris d'une taille de 17,4 mm et 17,8 mm, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

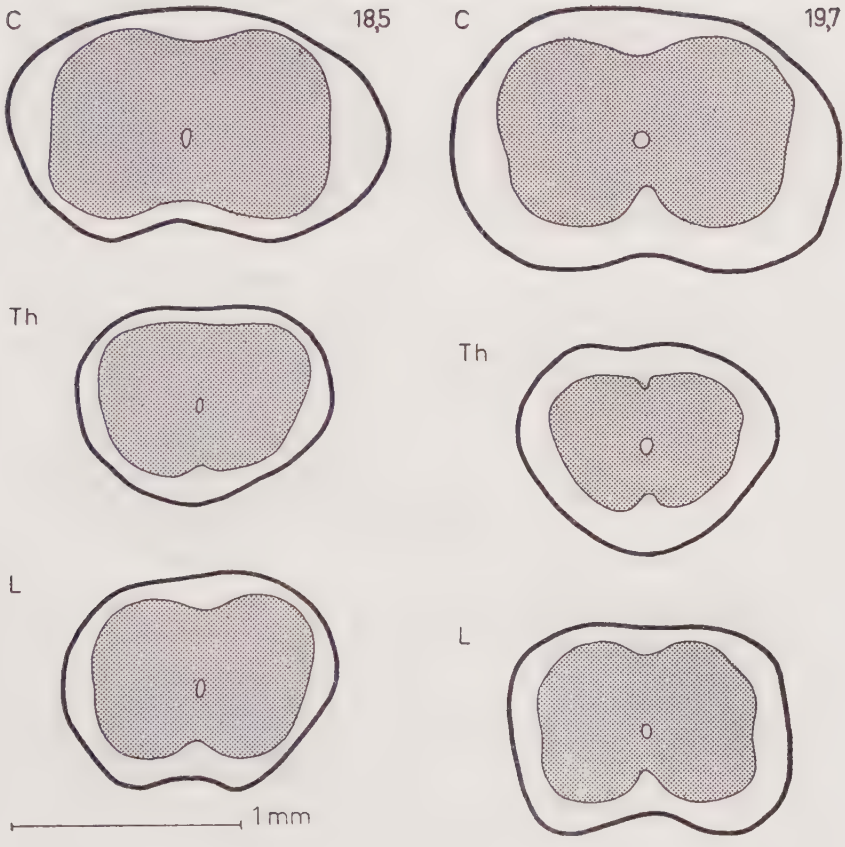


Fig. 22. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de souris d'une taille de 18,5 mm et 19,7 mm, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

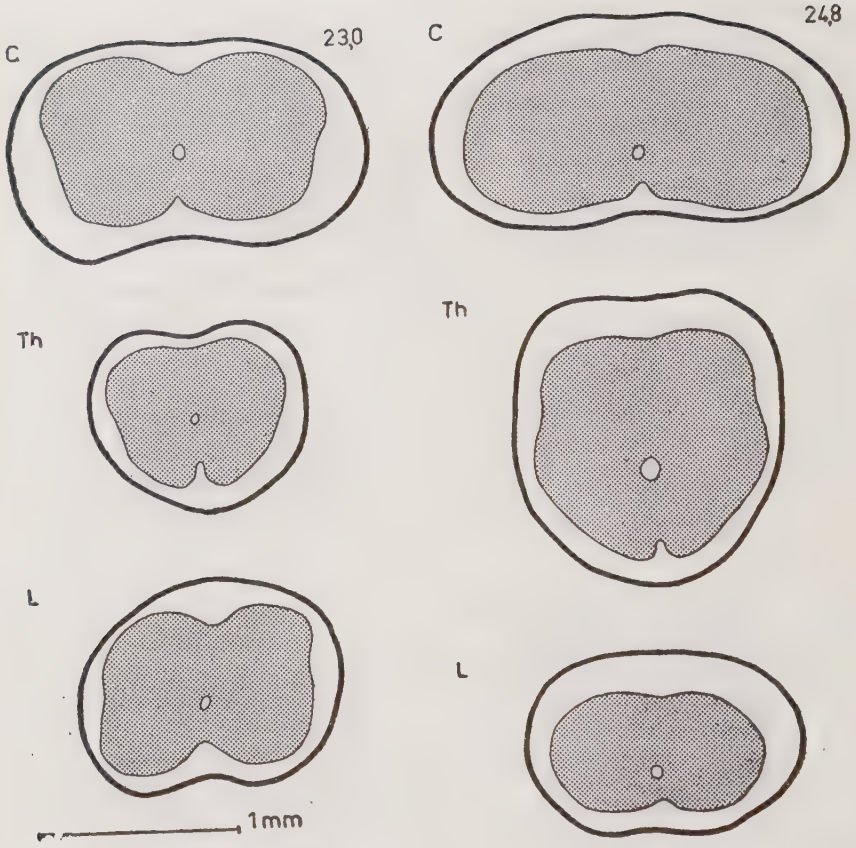


Fig. 23. — Contours de la moelle et du canal rachidien des embryons de souris, d'une taille de 23,0 mm et 24,8 mm, aux trois niveaux, cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L).

b. — MESURES

Ces variations de forme résultent de l'irrégularité dans le développement des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal vertébral. Aussi les renseignements obtenus par l'examen des dessins ont été contrôlés par la mesure de ces diamètres comme il a été précisé (voir page 36). Ces mesures (tableaux VIII) seront à présent passées en revue successivement aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

1. — Dans la région cervicale, les diamètres transversaux de la moelle et du canal rachidien présentent un accroissement très régulier, alors que les diamètres sagittaux de ces éléments augmentent imperceptiblement.

Ainsi les diamètres sagittaux chez l'embryon de 13,1 mm mesurent 0,73 mm au niveau de la moelle et 1,01 mm au niveau du canal (Fig. 19) et auront, chez le nouveau-né de 24,8 mm, une valeur de 1,70 mm pour la première et de 2,02 mm pour le second (Fig. 23).

Pendant la même période du développement, les diamètres sagittaux présentent une faible augmentation, celui de la moelle de 0,75 mm à 0,81 mm, celui du canal de 0,97 mm à 1,03 mm.

C'est dire que les diamètres transversaux ont augmenté de 0,77 mm pour la moelle et de 1,01 mm pour le canal, alors que l'accroissement a été de 0,06 mm au niveau des diamètres sagittaux de ces deux éléments.

2. — A la hauteur de la colonne thoracique, les diamètres transversaux s'accroissent plus vite que les diamètres sagittaux jusque chez l'embryon de 18,5 mm.

Mesurés sur les coupes d'un embryon de 14,6 mm, les diamètres transversaux ont, au niveau de la moelle, une valeur de 0,78 mm, au niveau du canal de 1,01 mm (Fig. 19); chez l'embryon de 18,5 mm, ils vont atteindre, celui de la moelle 0,93 mm, celui du canal 1,11 mm (Fig. 22).

Pendant ce temps, les diamètres sagittaux passent, pour la moelle, de 0,66 mm à 0,68 mm, demeurant pour le canal à une valeur de 0.86 mm.

Les diamètres transversaux ont donc augmenté de 0,15 mm au niveau de la moelle et de 0,10 mm au niveau du canal, alors que le diamètre sagittal de la moelle a présenté un accroissement de 0,02 mm, celui du canal n'ayant pas augmenté.

Au cours de l'intervalle suivant, allant jusqu'à la naissance, la croissance des diamètres sagittaux est plus rapide que celle des diamètres transversaux

Chez le nouveau-né de 24,8 mm, les diamètres transversaux sont, celui de la moelle de 1,14 mm, celui du canal de 1,30 mm (Fig. 23); les diamètres sagittaux ont atteint, pour la première 1,13 mm, et 1,44 mm pour le second.

L'augmentation des diamètres transversaux, de 0,21 mm au niveau de la moelle et de 0,10 mm au niveau du canal, est plus faible que celle

Taille	Ø T moelle	Ø T canal	Ø S moelle	Ø S canal
NIVEAU CERVICAL				
13,1	0,73	1,01	0,75	0,97
14,6	0,95	1,46	0,68	0,90
15,9	1,05	1,38	0,66	0,85
16,4	1,04	1,44	0,67	0,89
17,4	1,05	1,54	0,67	0,98
17,8	1,23	1,63	0,80	1,02
18,5	1,22	1,65	0,83	1,00
19,7	1,30	1,67	0,85	1,14
23,0	1,43	1,77	0,84	1,11
24,8	1,70	2,02	0,81	1,03
NIVEAU THORACIQUE				
13,1	0,66	0,82	0,74	0,91
14,6	0,78	1,01	0,66	0,86
15,9	0,83	1,06	0,64	0,84
16,4	0,72	0,96	0,57	0,74
17,4	0,80	1,05	0,60	0,84
17,8	1,03	1,32	0,80	1,10
18,5	0,93	1,11	0,68	0,86
19,7	0,84	1,13	0,61	0,91
23,0	0,89	1,06	0,72	0,92
24,8	1,14	1,30	1,13	1,44
NIVEAU LOMBAIRE				
13,1	0,80	1,07	0,66	0,83
14,6	0,85	1,18	0,74	0,98
15,9	0,98	1,18	0,54	0,74
16,4	1,00	1,25	0,56	0,81
17,4	0,96	1,26	0,59	0,82
17,8	1,07	1,39	0,68	0,98
18,5	0,97	1,17	0,73	0,94
19,7	0,96	1,22	0,72	0,92
23,0	1,06	1,28	0,88	1,06
24,8	1,05	1,33	0,60	0,89

Tableau VIII. — Diamètres transversaux et sagittaux (exprimés en mm) de la moelle et du canal rachidien d'une série d'embryons de souris allant de 13,1 mm à la naissance.

des diamètres sagittaux qui est, celle de la première de 0,45 mm et celle du second de 0,58 mm, alors que l'on remarquait une croissance beaucoup moins importante de ces diamètres sagittaux durant la période précédente.

3. — Enfin, à l'étage lombaire, l'accroissement apparaît lent pour tous les diamètres, transversaux et sagittaux de la moelle et du canal.

Les diamètres transversaux mesurent chez l'embryon de 15,9 mm, celui de la moelle 0,98 mm, celui du canal 1,18 mm (Fig. 20); et présentent chez le nouveau-né de 24,8 mm la valeur de 1,05 mm pour la première, celle de 1,33 mm pour le second (Fig. 23).

Durant cette période, les diamètres sagittaux passent, celui de la moelle de 0,54 mm à 0,60 mm, celui du canal de 0,74 mm à 0,89 mm.

Les diamètres transversaux ont ainsi augmenté de 0,07 mm au niveau de la moelle et de 0,15 mm au niveau du canal, alors que l'accroissement des diamètres sagittaux représente 0,06 mm pour la première et 0,15 mm pour le second.

L'étude des variations des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal rachidien, complétée par l'examen des graphiques sur lesquels les mesures de ces diamètres sont portées en ordonnées, la taille des embryons étant inscrites en abscisses. Ces courbes donnent l'image de l'évolution parallèle des diamètres de la moelle et du canal vertébral.

En conclusion, le développement des diamètres de ces deux éléments est caractérisée par :

1. — La croissance régulière des diamètres transversaux de la moelle et du canal (Fig. 24 à 26);

2. — l'accroissement irrégulier des diamètres sagittaux de ces éléments, variable suivant le niveau considéré.

Dans la région thoracique, ces diamètres sagittaux croissent très lentement jusque chez l'embryon de 18,5 mm pour s'accroître ensuite rapidement jusqu'à la naissance (Fig. 25).

Aux niveaux cervical et lombaire, la croissance des diamètres sagittaux demeure lente durant toute la vie embryonnaire (Fig. 24 et 26).

3. — le remarquable parallélisme des courbes qui représentent le développement des diamètres du canal vertébral, en pointillé, et de la moelle, en trait plein (Fig. 24 à 26).

c. — INDICES

Dans le but de préciser le parallélisme du développement du canal vertébral et de la moelle, nous avons calculé les indices transverso-sagittaux de ces éléments, ainsi que nous l'avions fait pour l'étude semblable des embryons de poulet. Ces indices, qui facilitent l'appréciation de la forme du canal rachidien et de la moelle d'après leurs plus grands

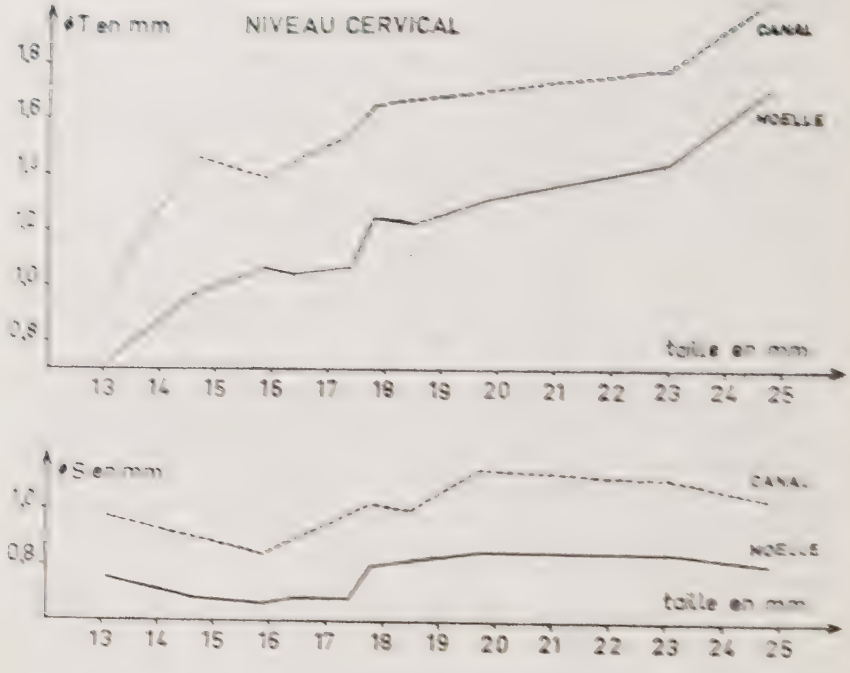


Fig. 24. — Diamètres transversaux Ø T et sagittaux Ø S de la moelle en cours plein et du canal rachidien en pointillé de l'embryon de souris au niveau cervical

Les diamètres transversaux croissent plus vite que les diamètres sagittaux.

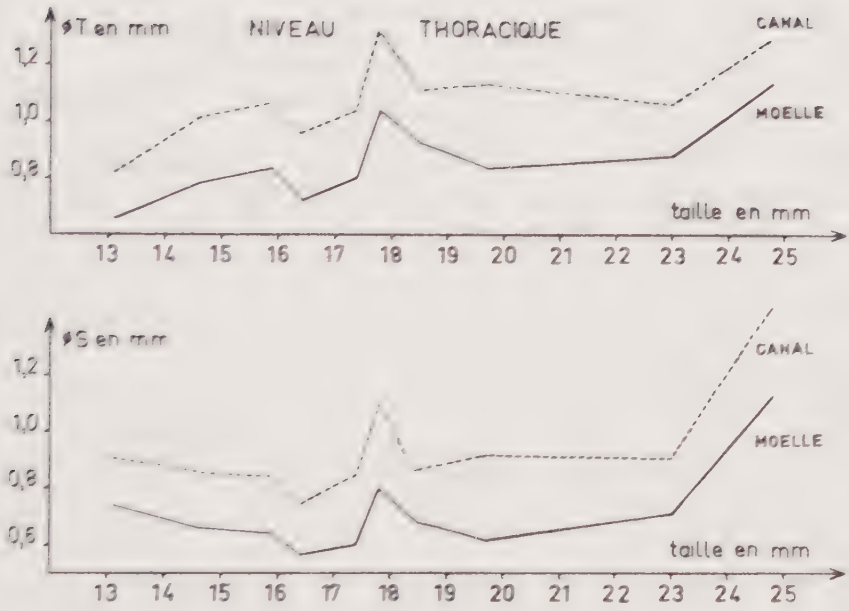


Fig. 25. — Diametres transversaux (Ø T) et sagittaux (Ø S) de la moelle (en trait plein) et du canal rachidien (en pointillé) de l'embryon de souris au niveau thoracique.

La croissance des diametres sagittaux d'abord lente, s'accélere durant la derniere période avant la naissance. Son irrégularité contraste avec la régularité de la croissance des diametres transversaux.

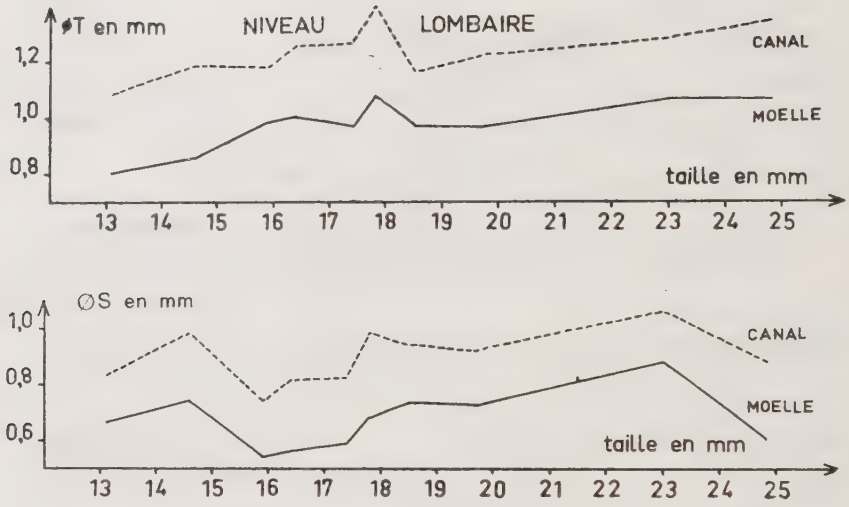


Fig. 26. — Diamètres transversaux (Ø T) et sagittaux (Ø S) de la moelle (en trait plein) et du canal rachidien (en pointillé) de l'embryon de souris au niveau lombaire.

La croissance des diamètres transversaux est légèrement plus rapide que celle des diamètres sagittaux.

diamètres dans le plan horizontal, sont portés sur un tableau chiffré (tableau IX), puis inscrits sur des graphiques en fonction de la taille des embryons portée en abscisses (Fig. 27).

Taille	Niveau cervical		Niveau thoracique		Niveau lombaire	
	ITS moelle	ITS canal	ITS moelle	ITS canal	ITS moelle	ITS canal
13,1	102,7	96,0	112,1	110,9	82,5	77,5
14,6	71,5	61,6	84,6	85,1	87,0	83,0
15,9	62,8	61,5	77,1	79,2	55,1	45,7
16,4	64,4	61,8	79,1	77,0	56,0	64,8
17,4	63,8	63,6	75,0	80,0	61,4	65,0
17,8	65,0	62,5	77,6	83,3	63,5	70,5
18,5	68,0	60,6	73,0	77,4	75,2	80,3
19,7	65,3	68,2	72,6	80,5	75,0	75,4
23,0	58,7	62,7	80,8	86,7	83,0	82,8
24,8	47,6	50,9	99,1	110,7	57,1	66,9

Tableau IX. — Indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien d'une série d'embryons de souris allant de 13,1 mm à la naissance, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

L'examen de ce tableau et de ces graphiques confirme les données des dessins et des mesures des diamètres en tous points. Mais de plus, la comparaison sur les graphiques des indices de la moelle avec ceux du canal vertébral met en évidence un parallélisme étroit.

Mais nous avons cherché à confirmer encore notre hypothèse de travail par l'étude de l'évolution du rapport des indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien. Les valeurs de ce rapport (tableau X) aux trois niveaux cervical, thoracique et lombaire ne s'écartent que très peu de l'unité, ce qui ressort nettement d'un graphique (Fig. 28) où nous avons inscrit ces valeurs. La faiblesse des fluctuations du rapport des indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien témoigne de l'étroite relation des formes de ces deux éléments.

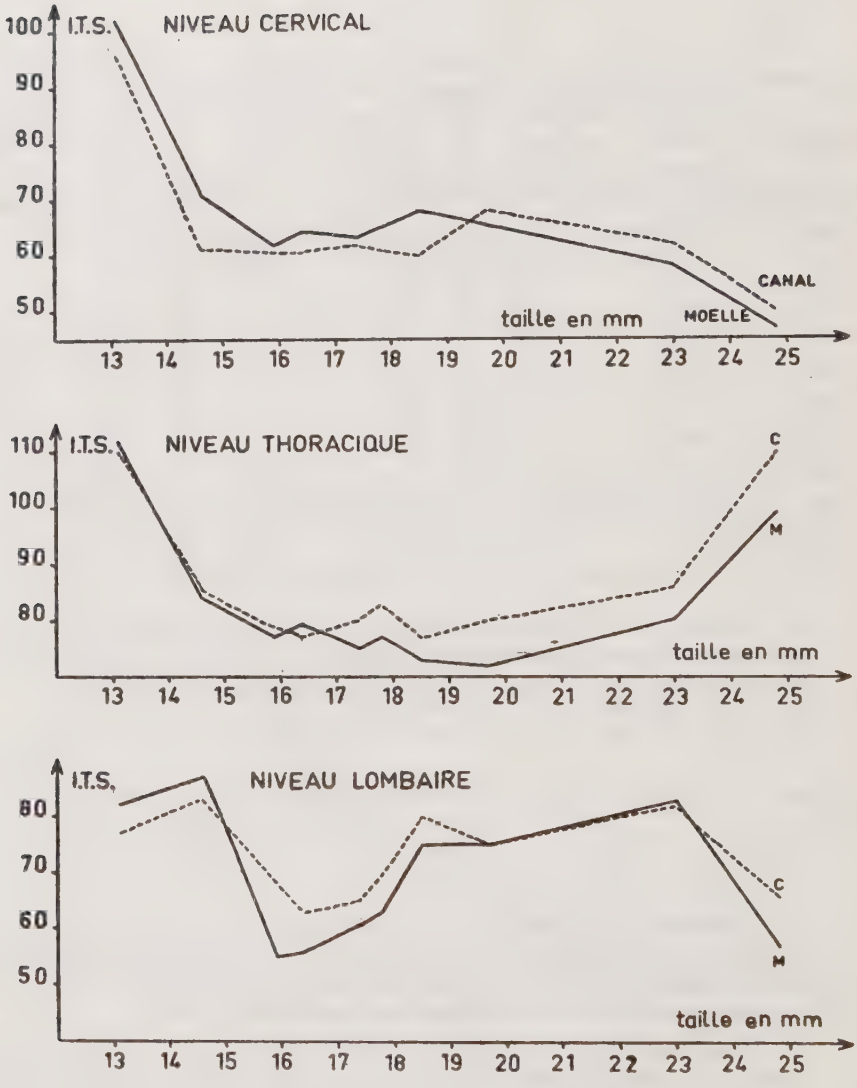


Fig. 27. — Indices transverso-sagittaux de la moelle (en trait plein) et du canal rachidien (en pointillé) de l'embryon de souris.

A tous les niveaux, les courbes des indices de la moelle et du canal sont parallèles, ce qui montre les variations comparables de la forme de ces éléments.

Taille	Niveau cervical	Niveau thoracique	Niveau lombaire
13,1	0,93	0,98	0,93
14,6	0,86	1,00	0,95
15,9	0,97	1,02	0,82
16,4	0,95	0,97	1,15
17,4	0,99	1,06	1,05
17,8	0,96	1,07	1,11
18,5	0,89	1,06	1,06
19,7	1,04	1,10	1,00
23,0	1,06	1,07	0,99
24,8	1,06	1,11	1,17

Tableau X. — Evolution du rapport des indices transverso-sagittaux d'une série d'embryons de souris allant de 13,1 mm à la naissance, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

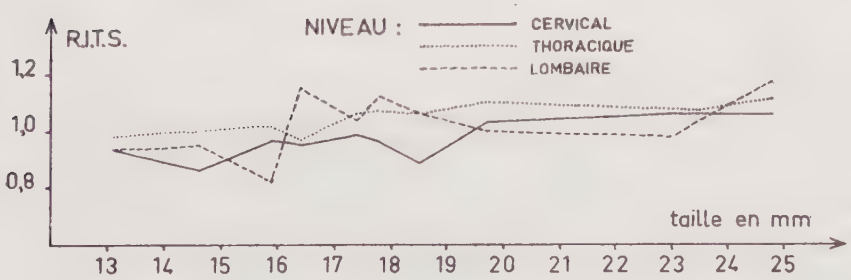


Fig. 28. — Rapport des indices transverso-sagittaux de l'embryon de souris.

Les tracés oscillent autour d'une valeur moyenne proche de l'unité.

Enfin, l'espace péri-médullaire intra-rachidien dont l'importance pourrait empêcher le modelage du canal rachidien par la moelle, a été mesuré, comme chez les embryons de poulet, par deux indices vertébro-médullaires, l'un sagittal, l'autre transversal (tableau XI).

Taille	Niveau cervical		Niveau thoracique		Niveau lombaire	
	IVM trans.	IVM sagit.	IVM trans.	IVM sagit.	IVM trans.	IVM sagit.
13,1	72,2	77,3	80,4	81,3	74,7	79,5
14,6	65,0	75,5	77,2	76,7	72,0	75,5
15,9	76,0	77,6	78,3	76,1	83,0	72,9
16,4	72,2	75,2	75,0	77,0	80,0	69,1
17,4	68,1	68,3	76,1	71,4	76,1	71,9
17,8	75,4	78,4	78,0	72,7	76,9	69,3
18,5	73,9	83,0	83,7	79,1	82,9	77,6
19,7	77,8	74,5	74,3	67,0	78,6	78,2
23,0	80,7	75,6	83,9	78,2	82,8	83,0
24,8	84,1	78,6	87,6	78,4	78,9	67,4

Tableau XI. — Indices vertébro-médullaires transversaux et sagittaux d'une série d'embryons de souris allant de 13,1 mm à la naissance, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

Portés en ordonnées sur des graphiques où la taille des embryons s'inscrit en abscisses (Fig. 29), ces indices vertébro-médullaires ne varient guère durant le développement, ce qui permet d'affirmer que durant toute l'évolution embryonnaire à partir du moment où le canal rachidien cartilagineux est entièrement constitué, l'aire médullaire occupe proportionnellement toujours la même surface à l'intérieur du canal vertébral.

En résumé, par l'étude des coupes sélectionnées et dessinées sous projection, par la mesure des diamètres transversaux et sagittaux du canal rachidien et de la moelle sur ces coupes et enfin par le calcul des indices décrits, il est possible de :

1. — constater un parallélisme étroit du développement de la moelle et du canal vertébral et de l'évolution de leur forme ;

2. — suivre l'évolution souvent complexe des différents diamètres de ces deux éléments: on observe la régularité de la croissance des diamètres transversaux s'opposant à l'irrégularité de l'accroissement des diamètres sagittaux, variable suivant le niveau considéré.

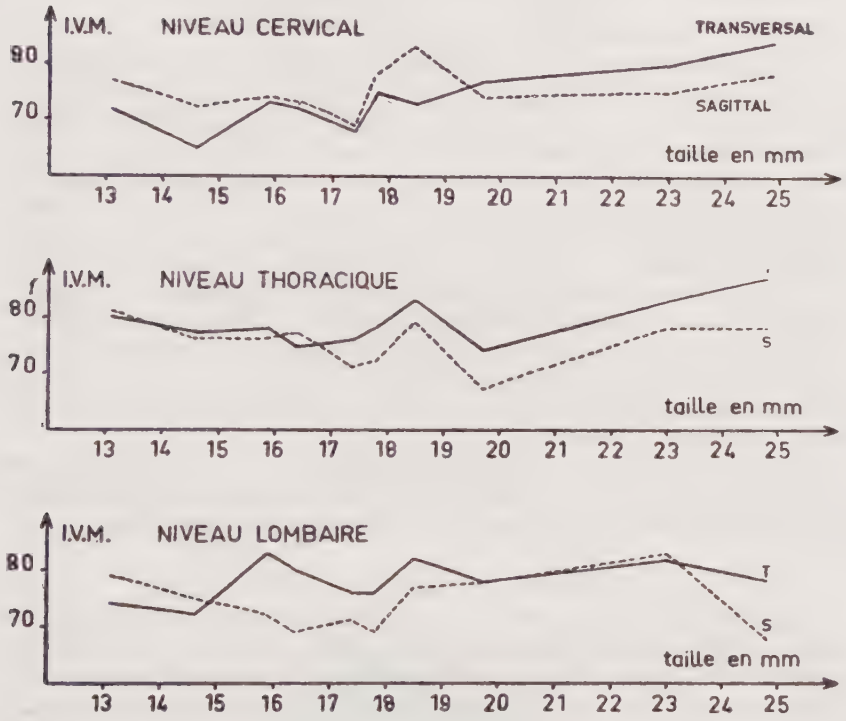


Fig. 29. — Indices vertébro-médullaires transversal (en trait plein) et sagittal (en pointillé) de l'embryon de souris.

Les indices ne varient que faiblement durant le développement.

C. - Embryon Humain

Pour compléter les éléments de notre information, fournis par l'étude de séries embryonnaires de poulet et de souris, nous avons examiné une série de coupes d'un embryon Humain d'une longueur vertex-coccyx de 45 mm et d'une longueur totale de 59 mm: sur les trois coupes, cervicale, thoracique et lombaire, sélectionnées d'après les critères adoptés pour les embryons de poulet et de souris (voir page 35), nous avons procédé comme pour les embryons d'espèces animales au tracé des contours de la moelle et du canal rachidien (Fig. 30), aux mesures des diamètres de ces éléments et au calcul des indices (tableaux XII à XV).

a. — DESSINS

Les dessins des coupes de cet embryon Humain (Fig. 30) permettent deux constatations: l'adaptation du canal vertébral à la forme de la moelle d'une part et d'autre part la tendance de ce canal à une forme voisine de celle qu'il présentera chez l'Homme adulte.

1. — Les dessins, aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire, montrent d'une manière indiscutable l'adaptation de la forme du canal rachidien à celle de la moelle qu'il contient, tout comme il a été possible de le constater chez les embryons de poulet et de souris.

2. — La forme du canal rachidien ressemble fortement à la forme adulte. Ainsi aux niveaux cervical et lombaire, sa forme peut être décrite comme trapézoïdale ou triangulaire à sommet postérieur et aux angles arrondis, ce qui est particulièrement net au niveau lombaire. Or, le canal vertébral est classiquement décrit comme triangulaire dans les régions cervicale et lombaire.

Au niveau thoracique, le canal rachidien de cet embryon Humain peut se comparer à un losange plus ou moins arrondi qui semble ébaucher la forme circulaire du canal thoracique de l'Homme adulte.

b. — MESURES

Les mesures des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal vertébral confirment cette étroite adaptation, car les diamètres de ces deux éléments ont des valeurs très voisines (tableau XII).

Niveau	Ø T moelle	Ø T canal	Ø S moelle	Ø S canal
Cervical	1,93	2,24	1,63	2,03
Thoracique	1,39	1,92	1,33	1,68
Lombaire	1,62	1,94	1,41	1,94

Tableau XII. — Diamètres transversaux et sagittaux (exprimés en mm) de la moelle et du canal rachidien d'un embryon Humain du troisième mois, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

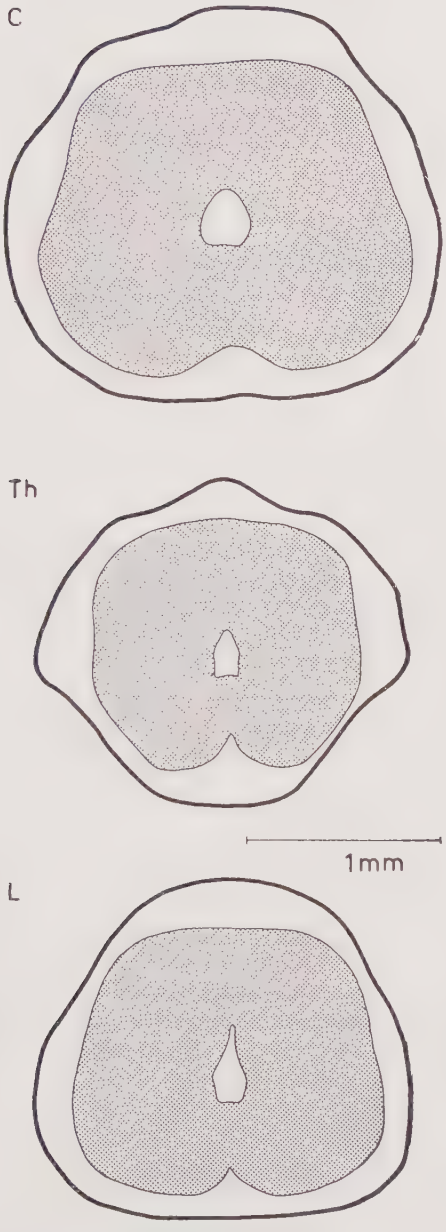


Fig. 30. — Contours de la moelle et du canal rachidien aux niveaux cervical (C), thoracique (Th) et lombaire (L) d'un embryon Humain du troisième mois. (Dimensions: V. C.: 45 mm; L. T.: 59 mm).

c. — INDICES

Cette adaptation se précise davantage grâce au calcul des indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien (tableau XIII) et surtout grâce au calcul du rapport de ces indices transverso-sagittaux dont les valeurs voisines de l'unité témoignent de la similitude de ces indices (tableau XIV).

Niveau	ITS moelle	ITS canal
Cervical	84,4	90,6
Thoracique	95,6	87,5
Lombaire	87,0	100,0

Tableau XIII. — Indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien d'un embryon Humain du troisième mois, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

Niveau	R.I.T.S.
Cervical	1,07
Thoracique	0,92
Lombaire	1,14

Tableau XIV. — Rapports des indices transverso-sagittaux d'un embryon Humain du troisième mois, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

Enfin, les indices vertébro-médullaires, transversaux et sagittaux, mettent en évidence un espace péri-médullaire intra-rachidien beaucoup moins étendu que celui que l'on trouve chez l'Homme adulte (tableau XV).

Niveau	IVM Trans.	IVM sagit.
Cervical	86,1	80,2
Thoracique	72,3	79,1
Lombaire	83,5	72,6

Tableau XV. — Indices vertébro-médullaires transversaux et sagittaux d'un embryon Humain du troisième mois, calculés aux trois niveaux, cervical, thoracique et lombaire.

En résumé, l'étude des coupes transversales de la colonne vertébrale d'un jeune embryon Humain nous donne des résultats comparables à ceux fournis par l'examen des séries embryonnaires de poulet et de souris, c'est-à-dire essentiellement l'étroite adaptation de la forme du canal rachidien à la forme de la moelle qu'il contient.

IV. - DISCUSSION

Pour préciser le rôle morphogène de la moelle à l'égard du canal rachidien au cours de son développement, nous avons :

a) employé un matériel et des méthodes susceptibles d'être critiquées et

b) obtenu des résultats qui permettent de définir le rôle de la moelle dans la morphogénèse du canal rachidien et de reprendre l'examen des théories morphogénétiques du canal rachidien proposées par les Auteurs.

A. - Critique des méthodes

Ce travail peut être critiqué :

a) pour le choix du matériel et

b) pour les méthodes utilisées, en particulier pour le choix des niveaux-repères destinés à rendre comparables les coupes transversales du canal rachidien et de la moelle.

a) CHOIX DU MATÉRIEL

Nous avons utilisé deux séries embryonnaires, l'une de poulet, l'autre de souris, critiquables d'une part pour l'irrégularité du développement des embryons de poulet et d'autre part pour les erreurs possibles lors de la mesure de la longueur des embryons de souris, mesure destinée à fixer l'âge de ces embryons.

L'irrégularité du développement embryonnaire du poulet, qui ressort en particulier des irrégularités de nos graphiques (Fig. 13 à 15 et 24 à 26), est liée au fait bien connu que deux oeufs placés dans la couveuse en même temps, puis prélevés ensemble, ne se trouveront pas nécessairement à un stade identique de l'évolution.

Par ailleurs, il est difficile de mesurer avec précision la taille des embryons de souris laquelle fixe leur âge approximatif. Nous avons retenu la mesure de leur longueur totale en position enroulée, la queue étant placée sous l'abdomen. L'âge de ces embryons pourrait être mieux fixé par le contrôle de la durée de la gestation à l'aide de la méthode des frottis vaginaux. Mais cette méthode, d'emploi délicat, n'exclut pas les erreurs dues en particulier aux irrégularités du développement embryonnaire semblables à celles rencontrées chez les embryons de poulet.

Les difficultés dues à l'imprécision de la connaissance exacte du stade des embryons pourraient être levées par l'emploi de séries nombreuses permettant des calculs statistiques. Le grand nombre de coupes nécessaires pour ce travail (13.198) explique la limitation du nombre d'exemplaires de chacune de nos deux séries.

b) MÉTHODES UTILISÉES

A côté des critiques possibles à l'endroit de la constitution de nos séries embryonnaires, on peut aussi examiner la valeur du choix des niveaux des coupes histologiques, cervical, thoracique et lombaire, lesquels correspondent aux valeurs extrêmes des diamètres transverses médullaires: maximum cervical, minimum thoracique et maximum lombaire.

Le repérage de ces niveaux est plus aisé chez les embryons de poulet dont la moelle ne subit pas d'ascension, mais il est délicat chez les embryons de souris en raison de l'existence d'une ascension médullaire, laquelle perturbe la topographie vertébrale de la moelle. Chez la souris, ce déplacement médullaire est le plus important au niveau du plus grand diamètre transversal de l'intumescence lombaire qui, chez le nouveau-né, remonte jusqu'à la hauteur de la troisième vertèbre lombaire ou de la quatrième, alors que sur notre plus petit embryon ce diamètre maximum se place en regard de la première vertèbre sacrée ou de la deuxième.

Cependant, malgré l'ascension de la moelle lombaire, l'examen de nos résultats montre un parallélisme évident des développements de la moelle et du canal rachidien à ce niveau; l'adaptation étroite de la forme du canal vertébral à celle de la moelle persiste durant tout le développement. Chez l'embryon de 13,1 mm, stade le plus précoce étudié, l'adaptation du canal rachidien à la moelle est manifeste (Fig. 19); cette adaptation se retrouve aussi étroite chez le néo-né de 24,8 mm (Fig. 23).

B. - Résultats

Malgré les inévitables irrégularités du développement des embryons étudiés et la difficulté de fixer avec une précision rigoureuse les trois niveaux médullaires choisis comme repères, ce travail nous a permis :

a) de circonscrire le rôle de la moelle dans la morphogénèse du canal rachidien, puis

b) de reprendre l'étude des diverses théories proposées pour expliquer la forme de ce canal.

a) LA MOELLE ET LA MORPHOGÉNÈSE DU CANAL VERTÉBRAL

L'étude comparative du développement de la moelle et du canal vertébral montre le parallélisme de l'évolution de la forme de ces deux éléments lequel

1) ressort de nos dessins,

2) est confirmé par le calcul des indices transverso-sagittaux de la moelle et du canal rachidien,

3) se précise par le calcul du rapport de ces indices et

4) s'explique par le calcul des indices vertébro-médullaires, transversal et sagittal.

1. — Ce parallélisme ressort de l'examen des dessins des contours de la moelle et du canal rachidien (Fig. 6 à 12 et 19 à 23) et surtout des mesures des diamètres de ces éléments, illustrées par des graphiques où d'une part l'abscisse porte l'âge des embryons de poulet, exprimé en jours (Fig. 13 à 15), ou la taille des embryons de souris, exprimée en millimètres (Fig. 24 et 26), et d'autre part l'ordonnée porte les valeurs mesurées des diamètres transversaux et sagittaux de la moelle et du canal vertébral.

2. — Le calcul d'indices transverso-sagittaux a permis de confirmer la similitude de l'évolution de la forme de la moelle et de celle du canal, démontrée par les graphiques portant les valeurs de ces indices en ordonnées (Fig. 16 et 27), sur lesquels on constate une évolution semblable des indices de la moelle et du canal.

3. — L'étroitesse du parallélisme de l'évolution de la moelle et de celle du canal rachidien se traduit encore par la stabilité du rapport des indices transverso-sagittaux (Fig. 17 et 28) : ce rapport s'écarte peu de

l'unité, ce qui exprime que les indices du canal et ceux de la moelle ont constamment des valeurs voisines.

4. — Enfin, le calcul des indices vertébro-médullaires souligne l'importance de l'aire occupée par la moelle à l'intérieur du canal vertébral: le pourtour de la moelle apparaît suffisamment proche des parois vertébrales pour les modeler (Fig. 18 et 29).

S'il ne nous pas été possible de constituer une série d'embryons Humains pour obtenir des renseignements semblables à ceux fournis par les séries embryonnaires animales, les coupes de l'embryon Humain du troisième mois donnent néanmoins quelques résultats intéressants.

Il est aisé de trouver sur ces coupes la similitude des formes de la moelle et du canal rachidien (Fig. 30) et l'on est frappé, chez cet embryon du troisième mois dont la moelle commence à peine son ascension, — son cône terminal correspond à la première vertèbre coccygienne ou à la cinquième vertèbre sacrée (Fig. 3) — par un canal rachidien de forme classiquement décrite chez l'Homme adulte: le canal lombaire bas, déshabité plus tard par l'intumescence lombaire, tend vers une forme triangulaire à sommet postérieur. Il est donc permis de penser que, chez l'Homme aussi, la forme du canal vertébral est très tôt fixée et que l'ascension médullaire ne commence à prendre de l'importance qu'après la constitution de cette forme dans ses caractères essentiels.

b) CRITIQUE DES THÉORIES EXPLICATIVES DE LA FORME DU CANAL RACHIDIEN

Les dessins, les mesures et les indices obtenus dans notre étude nous permettent de vérifier l'hypothèse du rôle morphogène de la moelle vis-à-vis du canal rachidien et confirment ainsi l'opinion de A. VESALE (1555), reprise par la suite par plusieurs Auteurs (C. GEGENBAUR, 1910; J. HYRTL, 1882; A. RAUBER, 1892) qui cependant n'apportèrent pas de démonstration à leur théorie.

Par contre, nos résultats ne s'accordent pas avec les deux théories qui expliquent la forme du canal par des facteurs mécaniques: la mobilité de la colonne vertébrale pour J. CRUVEILHIER et l'action de la pesanteur pour A. SPERANSKY.

Ainsi, la théorie énoncée par J. CRUVEILHIER (1845) selon laquelle la forme du canal est conditionnée par la mobilité de la colonne, semble nier toute relation entre la forme de la moelle et celle du canal rachidien. Cet Auteur demande où sont les élargissements de ce canal correspondant aux intumescences médullaires. Les mesures du diamètre transverse maximum du canal rachidien faites par C. AEBY (1871) donnent la réponse; ces plus grands diamètres se trouvent au niveau de la

sixième vertèbre cervicale ou de la septième, plus bas au niveau de la première vertèbre sacrée (Fig. 2); le diamètre maximum de l'intumescence cervicale correspond sensiblement à la sixième vertèbre cervicale comme nous l'avons vu (tableau II). Quant à la discordance topographique entre la dilatation lombo-sacrée du canal vertébral et l'intumescence lombaire de la moelle, elle s'explique par l'ascension médullaire qui devient importante alors que la forme du canal rachidien est déjà fixée.

Par ailleurs, la théorie de J. CRUVEILHIER associe la forme triangulaire du canal rachidien cervical et lombaire à une plus grande mobilité de la colonne en ces deux segments. La plus grande mobilité vertébrale correspond effectivement aux segments du canal rachidien à section triangulaire, segments cervical et lombaire, mais le canal sacré possède lui aussi une aire de section triangulaire à sa partie supérieure, alors qu'il est rapidement immobilisé au cours du développement par suite de la soudure des vertèbres sacrées en un os sacré.

Il semble que la forme triangulaire du canal rachidien cervical et lombaire puisse s'expliquer par un facteur médullaire: l'examen des coupes, cervicale et lombaire, de l'embryon Humain montre la tendance du canal rachidien à prendre une forme comparable à un triangle à sommet postérieur et aux angles arrondis et sur ces mêmes coupes la moelle présente une forme semblable due au développement particulièrement important de sa partie antérieure (Fig. 30 . Cette forme triangulaire du canal vertébral cervical et lombaire semble fixée dès le troisième mois, âge de l'embryon étudié.

En conclusion, la superposition, au niveau cervical et lombaire, des zones de plus grande mobilité vertébrale et des segments à canal vertébral triangulaire, semble être une coïncidence alors que l'on ne considère pas le canal sacré à section triangulaire, mais pratiquement immobile.

Enfin, la théorie mécanique de A. SPERANSKY (1925 explique la forme triangulaire du canal cervical ou lombaire par la traction des muscles érecteurs du tronc sur les apophyses épineuses, alors que les apophyses articulaires constitueraient des points fixes; mais ces muscles agissent également sur les vertèbres thoraciques à canal cependant circulaire. De plus, pour cet Auteur, la forme triangulaire du canal rachidien correspond aux segments de la colonne caractérisés par une lordose: mais le canal sacré est triangulaire alors que le sacrum présente une cyphose.

En conclusion, s'il n'est pas possible de faire la part exacte du rôle de la moelle et des facteurs mécaniques dans le déterminisme de la forme du canal rachidien, il n'en demeure pas moins que le parallélisme remarquable du développement de la moelle et du canal rachidien trouvé sur nos dessins, exprimé par nos mesures et confirmé par le calcul des indices, constitue un puissant argument en faveur du rôle morphogène de la moelle dans le développement du canal rachidien.

V. - CONCLUSIONS

La forme du canal rachidien de l'Homme ou des espèces animales est classiquement expliquée par trois théories: elle serait due à celle de la moelle que ce canal abrite, ou bien cette forme serait conditionnée par la mobilité de la colonne vertébrale, ou encore elle résulterait de l'action de la pesanteur sur la colonne, en particulier sur celle de l'Homme érigé.

La première de ces hypothèses nous paraît la plus vraisemblable et nous avons pris pour hypothèse de notre travail l'action morphogène de la moelle sur la forme du canal rachidien.

Pour vérifier cette hypothèse de travail, nous avons étudié les corrélations entre la morphogénèse du canal rachidien et celle de la moelle sur deux séries d'embryons, l'une de poulet et l'autre de souris, lesquelles commencent au stade où l'ébauche cartilagineuse du canal vertébral est constituée et se terminent à la naissance. Ce matériel est complété par les coupes d'un embryon Humain du troisième mois.

Les formes du canal rachidien et de la moelle sont précisées à l'aide de coupes sensiblement transversales du canal rachidien et de la moelle parmi lesquelles nous avons retenu les niveaux repérables par des mesures: celles du plus grand diamètre transversal des intumescences médullaires, cervicale et lombaire, et celle du plus petit diamètre transversal de la moelle thoracique qui, ainsi choisies, paraissent comparables d'un embryon à l'autre de chacune de nos deux séries.

Sur ces coupes, nous avons :

1. — tracé sous projection les contours de la moelle et du canal vertébral (Fig. 6 à 12, 19 à 23 et 30) permettant d'apprécier la similitude de ces contours ou leur dissemblance;

2. — mesuré les diamètres, transverse et sagittal, de la moelle et ceux du canal dont les accroissements peuvent être semblables ou différents (tableaux IV, VIII et XII), et porté leurs valeurs sur des graphiques (Fig. 13 à 15 et 24 à 26) destinés à faciliter l'interprétation de ces mesures;

IMHOF, G. (1905). — *Arch. mikroskop. Anat. u. Entwicklungsmech.* 65 pp. 498-610. Cité dans: ROMANOFF, A. L. (1960). — *The Avian Embryo, Structural and Functional Development.* New-York, The Macmillan Co.

LIPPERT, H. et DZIALLAS, P. (1961). — Über den Aszensus des Rückenmarks und die Variabilität der Wirbelzahl nach Untersuchungen an menschlichen Feten. *Morph. Jb.*, 102, pp. 79-92.

MARCINIAK, T. (1927). — Der Ascensus medullae spinalis bei den menschlichen Phöten. *C. R. 1. Cong. polon. Anat. Zool.*, pp. 92-93, analysé dans: *Anat. Bericht*, 18, 1930.

MEYER, P. et KISSEL, A. (1961). — A propos de la croissance de la moelle et du canal rachidien chez l'embryon de poulet. *C. R. Ass. Anat.*, 47e R., Naples.

PFITZNER, W. (1904). — Über Wachstumsbeziehungen zwischen Rükkenmark und Wirbelkanal. *Morph. Jb.*, 9, pp. 99-116.

SPERANSKY, A. (1925). — L'origine des différences de la forme du canal vertébral chez l'homme. *Bull. Mem. Soc. Anthrop.* Paris, 7e série, 6, pp. 166-174.

VU

STRASBOURG, le 10 octobre 1961

LE PRÉSIDENT DE THÈSE :

Professeur P. MEYER.

VU

STRASBOURG, le 11 octobre 1961

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE :

Professeur R. FONTAINE.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

STRASBOURG, le 12 octobre 1961

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE,

PRÉSIDENT DU CONSEIL
DE L'UNIVERSITÉ :

J. F. ANGELLOZ.